



Evaluación de la concordancia de tres métodos de registro de color dental: guía dentaria, luz polarizada y espectrofotometría

DEPARTAMENTO DE PRÓTESIS BUCOFACIAL
Facultad de Odontología. Universidad Complutense de Madrid

MARTA SOLDEVILLA JIMÉNEZ
Tutor: PABLO GÓMEZ COGOLLUDO

Madrid Septiembre 2014

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, el Dr. Pablo Gómez Cogolludo, por su persistente guía e inagotable generosidad y dedicación.

Al Dr. Guillermo Pradés Ramiro por su imprescindible ayuda y entrega en el estudio.

A la Dra. Raquel Alonso, por su gran ayuda, interés y apoyo en el estudio.

Al Departamento de Prótesis Bucofacial de la Universidad Complutense de Madrid, por su apoyo material y humano.

Y a mi familia, por su cariño y apoyo.

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 CONCEPTO COLOR.....	7
1.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL COLOR.....	8
1.3 PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE LA PERCEPCIÓN DEL COLOR.....	9
1.3.1 TEORIA TRICROMÁTICA. MODELO TRIESTÍMULO.....	10
1.3.1.1 COLOR-LUZ. SÍNTESIS ADITIVA.....	10
1.3.1.2 COLOR-PIGMENTO. SÍNTESIS SUSTRATIVA.....	11
1.3.2 TEORÍA DE LOS POLOS OPUESTOS U Oponentes.....	12
1.3.3 TEORÍA INTEGRADA DE LA PERCEPCIÓN DEL COLOR.....	13
1.4 PERCEPCIÓN DEL COLOR.....	13
1.4.1 PRINCIPIOS Y PROPIEDADES DE LA LUZ.....	14
1.4.2 PRINCIPIOS Y PROPIEDADES DEL OBJETO.....	19
1.4.3 EL OBSERVADOR.....	20
1.5 DIMENSIONES DEL COLOR.....	21
1.5.1 MATIZ.....	22
1.5.2 SATURACIÓN.....	22
1.5.3 LUMINOSIDAD.....	23
1.6 FENÓMENOS ÓPTICOS.....	24
1.6.1 TRANSLUCIDEZ.....	24
1.6.2 OPALESCENCIA.....	25
1.6.3 FLUORESCENCIA.....	26
1.6.4 METAMERISMO.....	26
1.6.5 ESTRUCTURAS INTERNAS: ESMALTE Y DENTINA.....	27
1.6.6 TINCIONES EXTERNAS E INTERNAS.....	28
1.7 ORGANIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN CROMÁTICA.....	29
1.7.1 SÓLIDO MUNSELL.....	29
1.7.2 SÓLIDO OSTWALL.....	31
1.7.3 CUBO DE ALFRED HICKETHLER.....	31
1.8 SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL COLOR NUMÉRICOS.....	32
1.8.1 SISTEMA CIE Yxy.....	33
1.8.2 SISTEMA CIELab.....	34
1.8.3 SISTEMA CIELCh.....	35
1.8.4 ESPACIO CROMÁTICO DENTAL.....	36
1.8.5 EVALUACIÓN DEL COLOR.....	37
1.9 REGISTRO DEL COLOR.....	38
1.9.1 MÉTODOS SUBJETIVOS.....	38
1.9.1.1 GUÍAS DE COLORES.....	38
1.9.1.2 LUZ POLARIZADA.....	42
1.9.2 MÉTODOS OBJETIVOS.....	44
1.9.2.1 ESPECTROFOTÓMETROS.....	44
1.9.2.2 COLORÍMETROS.....	46
1.10 FACTORES PRINCIPALES Y CONDICIONES IDEALES PARA LA TOMA DEL COLOR.....	48
1.11 REQUISITOS BÁSICOS DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA.....	49
1.11.1 EXACTITUD.....	49

1.11.2 PRECISIÓN.....	49
1.11.3 REPRODUCIBILIDAD.....	50
1.11.4 REPETITIVIDAD.....	50
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	51
3. MATERIAL Y MÉTODO.....	54
3.1 DISEÑO DEL ESTUDIO.....	55
3.2 SELECCIÓN MUESTRA.....	55
3.3 OPERADORES.....	56
3.4 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA REALIZAR LOS REGISTROS DE COLOR.....	56
3.5 TOMA DE COLOR CON Guía 3D MÁSTER [®] (VITA [®]).....	57
3.6 TOMA DE COLOR CON FILTRO POLARIZADOR Smile Lite [®] (Style Italiano [®]).....	59
3.7 TOMA DE COLOR CON Spectroshade [®] (MHT [®]).....	60
3.8 MATERIAL COMPLEMENTARIO.....	64
3.9 PROTOCOLO DE TRABAJO.....	65
3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	66
4. RESULTADOS.....	67
4.1 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	68
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	69
4.2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	69
4.2.2 ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	76
5. DISCUSIÓN.....	87
6. CONCLUSIONES.....	96
7. BIBLIOGRAFÍA.....	98

1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONCEPTO

A lo largo de la historia, el ser humano se ha preocupado por obtener una apariencia física agradable. Nos hallamos inmersos en un creciente proceso de culto a la estética dental y, por este motivo, día a día se incrementa la demanda de tratamientos que, además de rehabilitar morfofuncionalmente al diente, le devuelven su aspecto natural o incluso lo mejoran.¹

La necesidad actual de tener sonrisas estéticamente agradables, ha motivado el desarrollo de técnicas cuya finalidad es el mejorar el aspecto de los dientes, incluyendo su color.^{2,3,4}

El color es un ingrediente esencial en nuestro ambiente y está asociado con ciertos sentimientos, emociones y significados. Estas asociaciones están definidas tanto por la cultura como por nuestras propias experiencias. El color transmite emoción y afecta a la energía produciendo un impacto emocional que puede deleitar o angustiar.^{5,6,7}

Aunque el color es solamente uno de los muchos aspectos necesarios para lograr un buen resultado estético en una restauración, un esquema de color discordante puede ser mucho más devastador al efecto global que muchos otros factores involucrados.^{8,9} Es por esta razón que se ha invertido mucho tiempo investigando las propiedades de reproducción del color y hoy en día, sigue siendo un reto para los profesionales clínicos y técnicos protésicos.^{3,4}

La selección del color del diente no debe considerarse como un aspecto teórico o mecánico, es más, se trata de un proceso racional. Debe tenerse siempre en cuenta el hecho de que la dentina combina varios colores y grados de opacidad y que el esmalte puede ser translúcido y opaco.^{10,11}

Se trata de un concepto extremadamente complicado por ser al mismo tiempo, una característica de las ondas electromagnéticas (factor objetivo) y una sensación que percibe el observador (respuesta subjetiva). La sensación percibida por el ojo humano es susceptible a múltiples variaciones y es allí donde aparece la ilusión óptica⁴². El cerebro humano no percibe los colores como son o como están relacionados con su alrededor, eso significa que el intelecto no interpreta correctamente el sentido de la visión. Sin embargo algunas veces el mecanismo óptico es directamente el responsable de la ilusión, es decir, ninguna de las percepciones visuales son los suficientemente adecuadas pero afortunadamente muchas de ellas son satisfactorias para propósitos prácticos. Como longitud de onda, el color es perfectamente cuantificable¹² por métodos objetivos. Sin embargo, el color es un fenómeno subjetivo debido a que el ojo no funciona como una máquina de análisis espectral. Por lo tanto son muchas las variables que pueden influir en la percepción del color y aunque esto puede llegar a estar en contra del operador a la hora de seleccionar un color en boca, puede también estar a favor cuando hablamos de ilusión y de imitar lo natural¹³. La literatura describe diferencias por sexo y edad, además de diferencias culturales y étnicas, en la respuesta a la estimulación por un color.^{11, 14, 15}

De acuerdo con la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), el color percibido se define como el aspecto de la percepción visual mediante el cual un observador puede distinguir entre dos campos del mismo tamaño, forma y textura basándose en las diferencias en la composición espectral de las radiaciones relacionadas con la observación. Esta misma organización en el año 2001, definió el color como la característica de la percepción visual que puede ser descrita por los atributos de tinte o tono, valor o luminosidad e Intensidad, saturación o croma.^{5, 14, 16}

De estas definiciones, se deduce, que el fenómeno del color es un fenómeno producido por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda. Además del objeto físico, la luz, y del fisiológico, el ojo, hay un tercer elemento que es el conocimiento, la experiencia y la sensibilidad de la persona que lo percibe y que cambiará sustancialmente la calidad, la percepción y la transmisión de lo que se ve.^{5,9,11,17}

Hace ya casi ochenta años Clark escribió: “El color, como la forma, tiene tres dimensiones, pero ellas no son de uso general. Muchos de nosotros ni siquiera conocemos sus nombres, ni sus escalas de medida. En otras palabras, nosotros como dentistas no hemos sido educacionalmente equipados para enfrentar el problema del color.”⁸

El conocimiento del correcto uso de los sistemas convencionales de toma de color es cada día más necesario si pretendemos satisfacer la demanda de estética actual. La paulatina entrada y perfeccionamiento de los sistemas electrónicos de colorimetría, han reducido los fracasos estéticos, incrementando la calidad de las restauraciones.¹⁹

1.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL COLOR

Gracias al legado pictórico de las pinturas rupestres, se sabe que el color ha existido en la vida del hombre desde su aparición sobre la tierra. Las características tan especiales de los antiguos pintores han conseguido que los colores hayan perdurado a través de los siglos.²⁰

El filósofo Aristóteles (384-322 AC) escribió en su obra *De Coloribus*, que el color era una propiedad de la luz y que los objetos aparecían coloreados debido a que absorbían la luz. Propuso que los colores básicos eran los de los elementos de tierra, fuego, agua y cielo. El resto de tonos, los consideraba variaciones de éstos por combinaciones de luz y oscuridad. Siglos más tarde, Leonardo da Vinci (1452-1519) quien también consideraba al color como propio de la materia, hizo algunas consideraciones en las que definió la siguiente escala de colores básicos: primero el blanco como principal ya que permite recibir a todos los demás colores, después, en su clasificación, seguía el amarillo para la tierra, verde para el agua, azul para el cielo, rojo para el fuego y negro para la oscuridad, ya que es el color que nos priva de todos los otros.²⁰

En 1665, Isaac Newton (1642- 1519) aportó los primeros conocimientos científicos sobre el color estudiando la desviación de la luz mediante un prisma. Descubrió que la luz del sol, podía ser dividida en varios colores haciéndola pasar a través de diferentes prismas. Esto producía un espectro, que va desde el rojo, pasando por el naranja, amarillo, verde y azul hasta el violeta. Estableció una base científica, suficiente para rechazar la teoría del color de Aristóteles, aún vigente en aquella época. Newton validó su teoría colocando unos primas en una habitación oscura, dejó penetrar un haz de luz a través de un agujero en la pared y cuando el rayo, pasó a través del prisma se generó el espectro de color.²⁰ De este modo se demostró que la luz es la fuente de todos los colores. Redireccionando el espectro de color hacia otro segundo prisma, se produjo luz blanca y así, se vio que la luz blanca es un componente de todos los colores del espectro. Tras sucesivas experiencias, Newton, teorizó que el color de un objeto, era producto de la reflexión selectiva de los rayos de luz y que esta consta de energía con diferentes longitudes de onda.^{11,20,21}

En oposición a la teoría de Newton, Goethe (1749-1832) analizo el color no como un fenómenos de naturaleza estrictamente físico, sino desde un punto de vista diametralmente opuesto ya que para él las impresiones visuales son realizadas por un observador. Para Newton el fenómenos es objetivo, para Goethe subjetivo.²¹

Durante los siguientes cincuenta años, el interés por el color fue considerable, de forma que numerosas teorías fueron enunciadas por Brewster, Grassmann y sobre todo por Helmholtz.^{20,22} En 1855 Maxwell realizó las primeras medidas visuales para comprobar la validez de la hipótesis tricromática, comprobó su exactitud y unifico las teorías de la época sobre la visión de los colores. Poco antes, Grassman estableció las leyes fundamentadas que ponen las bases de la estructura matemática para la medida del color, y que todavía hoy perduran. Los resultados de Maxwell condujeron a representar los colores por tres números y, por consiguiente, poder localizarlos como un punto en un espacio geométrico.^{20,23}

1.3 PLANTEAMIENTO TEÓRICO DE LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

De la serie de colores que componen el espectro visible se pueden diferenciar tres colores primarios y otros, secundarios o complementarios, obtenidos de los primeros. Estos colores primarios constituyen el denominado sistema RGB y son: el rojo, verde y azul. Los colores secundarios se obtienen sumando los primarios, de forma que el amarillo, por ejemplo, es la suma de verde y rojo. Los tres colores primarios juntos dan el color blanco, mientras que la mezcla de los secundarios produce el color negro. Ésta es la teoría aditiva del color. La teoría sustractiva, en cambio, está basada en restar luz eliminando longitudes de onda determinadas del espectro incidente mediante filtros o bien mediante absorción y dispersión de la luz.^{24,25}

1.3.1 TEORÍA TRICROMÁTICA: Síntesis aditiva y síntesis sustractiva

En el año 1802 Young propuso esta teoría sosteniendo que la percepción del color es el resultado de la interacción de tres mecanismos receptores que poseen diferentes sensibilidades espectrales, es decir, que son sensibles a distintas longitudes de onda. La existencia en la retina de dos tipos de fotorreceptores especializados, los conos (responsables de la distinción de los colores) y los bastones (especializados en la discriminación de la intensidad de la luz) permitió indicar un patrón de comportamiento de los conos. Se estableció que estos estarían divididos en tres grupos cada uno de ellos especializados en la visión de una de las tres longitudes de onda principales en las que se descompondrá la luz blanca, la del rojo (longitudes de onda larga), la del verde (longitudes de onda medias) y la del azul (longitud de onda corta), pudiéndose ver todos los demás colores por la suma y combinación de las estimulaciones de estos receptores.^{23, 26}

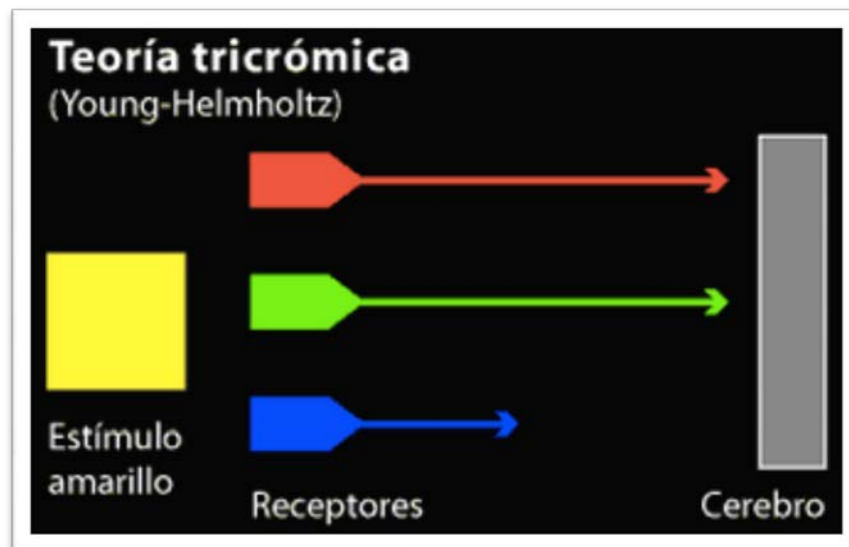


Figura 1

Los conocimientos de la época en física y neurofisiología permitieron que la teoría tricromática se convirtiera en la base teórica para la explicación del color, dando como resultado el desarrollo de los conceptos de síntesis aditiva y sustractiva.

1.3.1.1 COLOR-LUZ. SÍNTESIS ADITIVA

La síntesis aditiva del color-luz es la luz blanca, y su mejor expresión probablemente sea la luz solar, la cual reúne de forma equilibrada todos los matices de colores-luz existentes en la naturaleza. Cuando se descompone, la luz blanca presenta una a una, aisladamente, en la forma de luces monocromáticas, los llamados colores-luz no descomponibles, los cuales son el rojo, el verde y el azul violeta. De esa forma, esos tres colores se denominan colores-luz primarios y, cuando son combinados en proporciones variables, producen todos los colores del espectro visible. No obstante, no hay como obtener esos tres colores mediante cualquier combinación de colores del espectro, y la síntesis aditiva de la mezcla de esos colores primarios es la luz blanca.³

Por ello, si vemos un objeto amarillo es porque absorbe la luz roja y la verde.

Este tipo de mezclas recibe este nombre ya que en cada mezcla añadimos luces hasta llegar a la blanca, que es la adición de todas las luces de color.^{3, 11, 26}

COLORES LUZ MEZCLA ADITIVA		
PRIMARIOS	SECUNDARIOS	SUMA
Rojo	Magenta = Rojo + Azul	Blanco
Azul	Cian = Azul + Verde	
Verde	Amarillo = Verde + Rojo	



Figura 2: Color-luz primarios: rojo, verde y azul-violeta. La mezcla de esos colores primarios obedece al sistema aditivo de luz y tiene como resultado el blanco.

1.3.1.2 COLOR-PIGMENTO. SÍNTESIS SUSTRACTIVA

En contraposición a la mezcla aditiva de los colores luz, tenemos los colores pigmento y la mezcla o síntesis sustractiva. Se llama síntesis sustractiva al principio, por el que, debido a la capacidad de absorción de tres filtros juntos, se puede obtener la diversidad del espacio de colores. Este fenómeno se produce al ocupar pigmentos donde el color final de una zona va a depender de las longitudes de onda de la luz incidente reflejadas por los pigmentos de color de la misma. Por eso, los colores resultantes de una mezcla sustractiva son llamados colores pigmento.³

Cuando la luz solar choca contra la superficie de un objeto, este absorbe diferentes longitudes de onda de su espectro total, mientras que refleja otras. Estas longitudes de onda reflejadas son precisamente las causantes de los colores de los objetos, colores que por ser producidos por filtrado de longitudes de onda, se denominan colores sustractivos. Dicho de otra manera, la producción de colores por sustracción se da siempre que a una energía de radiación existente se le sustrae algo de su absorción. Los colores pigmentos o sustractivos son los colores basados en la luz reflejada de los pigmentos aplicados a las superficies. Esta síntesis sustractiva está formada por el color magenta, el cian y el amarillo como colores pigmento primarios. La mezcla de estos pigmentos a partes iguales no produce el color blanco, sino el negro.^{3,26,27}



Figura 3: Colores-pigmento translucidos primarios: magenta, amarillo y cian. Se observa que al revés de los colores-luz, los colores pigmento opacos y translúcidos son regidos por el sistema de resta de luz. Como resultado, la mezcla de los colores primarios resulta en gris neutro o negro.

1.3.2 TEORÍA DE LOS POLOS OPUESTOS U OPONENTES

Desarrollada por Hering en el siglo XIX, establece que en la percepción visual del color hay experiencias cromáticas que se oponen como son blanco y del negro. La experiencia del azul y el amarillo, y la experiencia del rojo y el verde. Esta incompatibilidad fenoménica puede verse en las expresiones de color más cotidianas. Para Hering, la base fisiológica sería la existencia de en la retina de tres sustancias que responderían sintetizándose o descomponiéndose en función de la naturaleza de la luz que le llega. Esta teoría, ante la solidez de la teoría tricromática, careció de aceptación hasta bien entrado el siglo XX donde determinados estudios permitieron comprobar su validez.^{4,26,27}

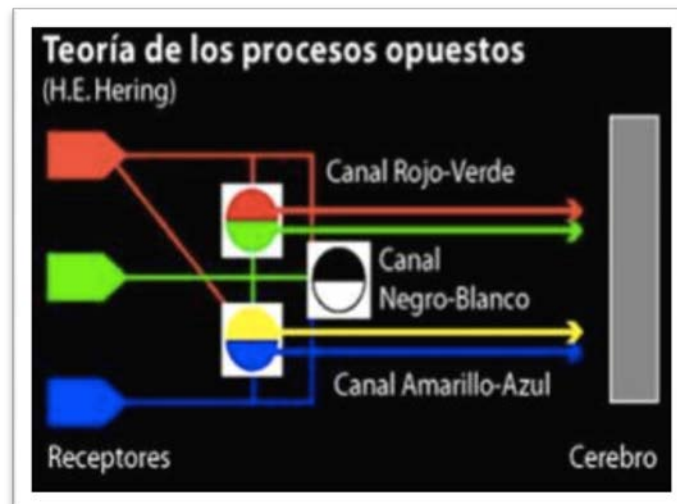


Figura 4

1.3.3 TEORÍA INTEGRADA DE LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

Los últimos estudios en percepción del color tienden a establecer una teoría de integración en la cual se propugna una fase inicial de codificación tricromática en los fotorreceptores y una serie de fases, que se iniciarían en los núcleos geniculados laterales y continuarían en las áreas corticales, que daría como resultado un procesamiento de la información representado mediante funciones de oponentes. Siguiendo este planteamiento se construyen los algoritmos de conversión para integrar los datos de espacios tricromáticos (CIE XYZ) y los espacios de los oponentes (CIE Lab, CIE lch).^{4,13}

En el siglo XX, a partir de la primera reunión de la Comisión Internationale de Eclairage (CIE) en 1924, en Paris, las investigaciones y los descubrimientos se suceden sin interrupción y hombres como Judd y MacAdam en USA, Le Grand en Francia y Wright en Inglaterra han permitido que el color alcance su estado actual.^{18,27}

1.4 PERCEPCIÓN DEL COLOR

La percepción del color es una respuesta fisiológica a un estímulo físico.²⁸ La materia es totalmente incorpórea y lo que hace que un objeto sea percibido con un determinado color responde, por una parte, a las propiedades de la luz incidente en el objeto, es decir, a las características de la radiación visible necesaria para iniciar todo proceso de visión humana (ya sea cromática o no). En segundo lugar, a las propiedades químicas de la materia de la que están formados los cuerpos, algo que afectará sensiblemente a la interacción de la luz con estos últimos y, por último, al sistema visual humano que será el que determine la sensación cromática final percibida por nuestro cerebro, según las ondas de luz transmitidas o reflejadas por el objeto que han penetrado en el ojo humano. Por este último factor, una determinada muestra de color no es percibida exactamente igual por dos observadores.¹⁵

Estas tres variables, que se describen a continuación, están íntimamente relacionadas de forma que se puede tener luz y un objeto que recoja ésta, pero si no hay observador no habrá percepción; de la misma forma que puede haber luz y un observador, pero si no hay objeto no habrá percepción cromática.

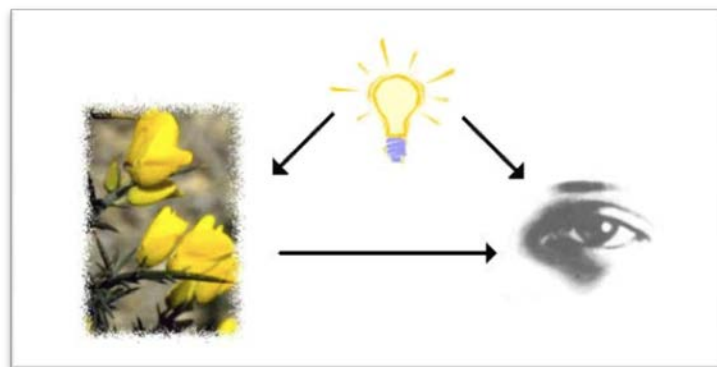


Figura 5

La interpretación de los datos visuales captados por el ojo la realiza el cerebro. Esta interpretación se elabora aplicando una serie de mecanismos (leyes perceptivas), comparando lo que vemos con lo que conocemos y realizando un juicio sobre lo que creemos que está condicionado por nuestras características psicológicas y culturales. En el proceso de percepción visual, intervienen elementos físicos externos al observador como son los objetos que nos rodean, la luz que ilumina y las condiciones en que se realiza la observación (si hay niebla por ejemplo). El cerebro también elabora una interpretación de esos datos que es el resultado de un proceso psicológico interno relacionado con el conocimiento de los hechos y de las cosas, así como de las características propias del observador.^{27,29}

1.4.1 PRINCIPIOS Y PROPIEDADES DE LA LUZ^{30,31,32}

Cuando observamos un color nos percatamos de que su tono varía, en función de la iluminación y de los objetos que rodean a este y es que, la iluminación cambia el color debido a que el color está en la luz. La oscuridad absoluta carece de color y solamente podemos ver el color real de un objeto cuando está iluminado por luz natural. La retina es sensibilizada por esas longitudes de onda y ese estímulo es posteriormente comunicado al córtex, la parte del cerebro que permite distinguir un color de otro. Para conocer cómo influye la luz en la toma del color, es necesario conocer su mecanismo de acción.³³

Algunos tipos de energía precisan para propagarse un medio natural llamado conductor, este es el caso de la energía eléctrica o mecánica. Pero también existe otro tipo de energía, como la luminosa, que se transporta sin necesidad de un conductor, por medio de radiaciones electromagnéticas.

Las radiaciones electromagnéticas se propagan en forma de dos ondas vectoriales mutuamente acopladas y perpendiculares entre sí. Según la teoría ondulatoria, la luz se propaga en forma de ondas que viajan en el espacio libre con una velocidad constante $c=3 \times 10^8$ m/s. Para esta teoría se considera fuente de luz a toda una radiación electromagnética cuya longitud de onda varía o esté comprendida entre los 380 nm y los 780 nm, o cuya frecuencia oscile entre los $3,2 \times 10^{14}$ Hz y $7,7 \times 10^{14}$ Hz.

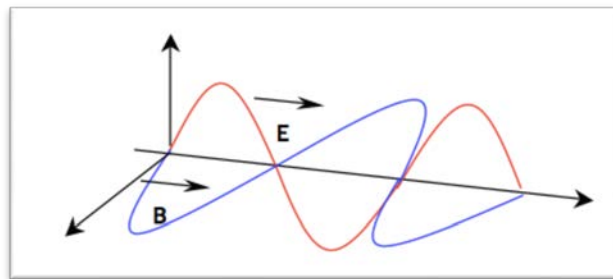


Figura 6: Radiación electromagnética.

Fue el propio Isaac Newton quién evidenció como la luz blanca (luz procedente del sol) se podía descomponer en una serie de haces luminoso de colores diferentes cuando atravesaba un prisma óptico. Con este experimento, Newton describió el espectro de la luz diurna mediante el fenómeno conocido como dispersión de la luz o dispersión cromática cuya explicación física escapaba a su teoría corpuscular. Mediante la teoría ondulatoria se sabe que cada color es en realidad una onda electromagnética de frecuencia o longitud de onda determinada y que, al penetrar en el prisma óptico, se desvía en una dirección diferente debido a que el índice de refracción de este material varía con la frecuencia de la onda penetrante, con lo que el haz diurno (luz blanca) se expande de tal forma que las radiaciones monocromáticas que este incluye pueden ser distinguidas y observadas por el ojo humano.^{11,13}



Figura 7: Dispersión cromática de la luz.

El ojo humano es sensible a las radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda está comprometida entre 380 nm y 780 nm, aproximadamente. Este pequeño segmento de radiaciones se conoce como espectro visible o luz.³² La radiación infrarroja está presente junto a la luz roja, mientras que la radiación ultravioleta se puede observar junto a el color violeta.^{37,34}

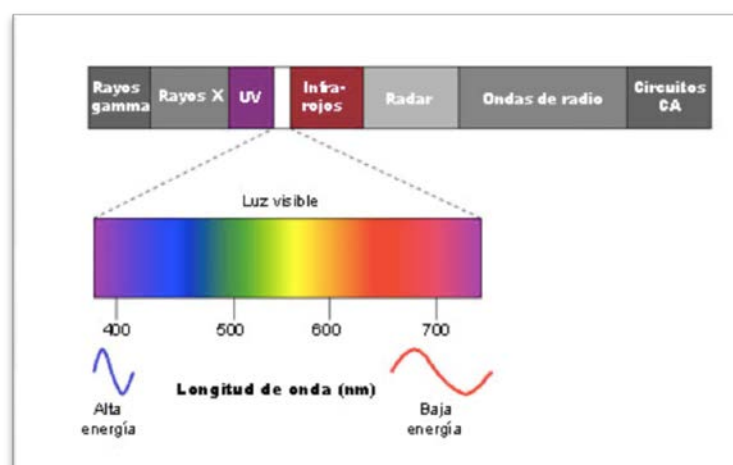


Figura 8: Dispersión cromática.

El espectro visible tiene numerosos colores que son distinguidos por la longitud de onda. El ser humano puede llegar a distinguir hasta aproximadamente 10000. La combinación de todas las radiaciones de luz produce la luz blanca, como la procedente del sol.¹¹

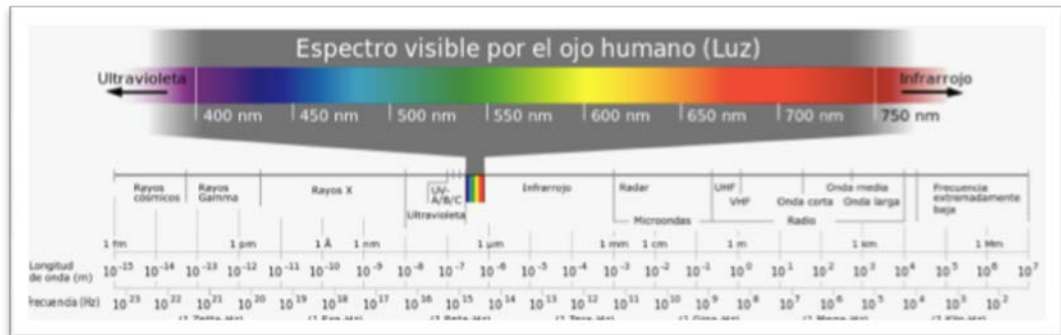


Figura 9 : Espectro visible por el ojo humano.

La luz diurna ha sido y seguirá siendo durante mucho tiempo una luz de referencia, utilizada como elemento de comparación y evaluación subjetiva para cualquier otra fuente luminosa diferente. Sin embargo, las condiciones ambientales y horarias hacen que esta fuente luminosa varíe su composición inaceptablemente para que pueda ser empleada como fuente en colorimetría. Es necesario, pues, definir una radiación que represente a una luz diurna normalizada, una distribución espectral constante para la medida del color, para ello la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) propuso el uso de iluminantes o blancos de referencia.³⁶

Es importante hacer referencia a las diferencias entre los conceptos de fuente de luz e iluminante. Fuente de luz hace referencia a la emisión de radiación electromagnética visible y el Iluminante es la especificación de una fuente de luz concreta. Es una construcción matemática que no puede realizarse físicamente en forma de fuente de luz.

Dado que la calidad de la fuente de luz incidente influye en la percepción del color de un objeto dado, en 1964 la CIE recomendó el uso de una serie de iluminantes en todos aquellos procesos que exijan una correcta percepción cromática. Entre ellas, las denominadas fuentes de luz día, que son fuentes fluorescentes de luz corregidas, que ofrecen temperaturas de color de 5000°K a 6500°K, y que se conocen comúnmente como luz día D50 y D65 respectivamente.³⁷ Este concepto de temperatura de color se define como la relación entre la temperatura de un cuerpo (cantidad de energía que emite) y el color que percibimos. De tal manera que, cuanto más alta es la temperatura del objeto, tanto más amplio se hace el espectro de radiación que emite y, por tanto, se modifica el color que percibimos. Asimismo, también hay que tener en cuenta que diferentes temperaturas de color de la luz dentro de un mismo ambiente pueden variar la percepción del objeto a examinar.

La percepción del color por el ojo humano varía según las condiciones de iluminación. La intensidad de iluminación necesaria para que el ojo humano perciba

cómodamente el color depende de la temperatura cromática de la luz. La luz perfectamente neutra da una temperatura de color de 5500°K. Por ello, hoy se admite que entre 5500°K - 6500°K es la temperatura cromática real de la luz blanca percibida por el ojo humano como blanca, y es la que debería usarse como fuente de luz (CIE D65) para igualar colores en odontología.^{11,17,29, 30,38}



Figura 10

Según la temperatura del color, los blancos de referencia estandarizados y recomendados por la CIE son los siguientes¹⁰:

1. Iluminante A: Corresponde a la luz emitida por una lámpara de filamento de wolframio. Equivale a la luz emitida por el cuerpo negro a una temperatura de 2.856 °K.
2. Iluminante B: Corresponde a la luz solar de mediodía. Su temperatura de color es de 4.874 °K.
3. Iluminante C: Luz del día en el hemisferio norte sin Sol directo (sin radiación ultravioleta). La temperatura para este iluminante es de 6.774 °K.
4. Iluminante D (D65): Mezcla de luz solar y cielo nublado (con presencia ultravioleta). Temperatura de color de 6.500 °K. Es el adoptado actualmente como blanco de referencia para la televisión en color.³⁷

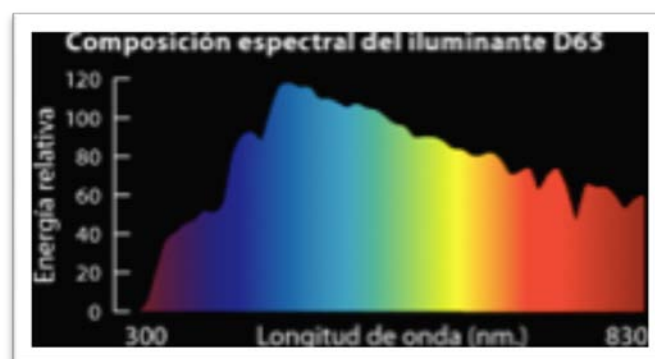


Figura 11

5. Iluminante E: Es el blanco equienergético y representa al blanco que se obtiene al estar presentes todas las longitudes de onda del espectro visible con igual energía. Su temperatura de color es de 5.500°K. Esta es la temperatura de color ideal.¹¹

La lámpara incandescente de equipo dental tiene una temperatura de color de 3800°K. No está recomendada la toma de color con la luz del equipo dental ya que la mayoría de ellas son incandescentes y emite mucha luz en el espectro rojo-amarillo y poco en el extremo del azul.^{13, 39}

Los fenómenos más importante en la relación luz-diente son la reflexión, refracción, absorción y difracción.

Reflexión: todos los cuerpos reflejan una parte de la luz que les llega. Se necesita que se les ilumine para que la podamos ver. Sin embargo, en la mayoría de los casos, debido a la rugosidad de la superficie, esta luz se refleja en todas las direcciones de manera difusa y produce por ella una reflexión difusa. En cambio, si la superficie está pulida y lisa, la luz reflejará nítidamente produciendo una reflexión espectacular.^{12,34}

Refracción: es el cambio de dirección que sufre la luz al penetrar un cuerpo translúcido o transparente a menos que la luz incida en forma perpendicular. Debido a que el diente posee pocas capas de distinta opacidad se refracta de diferente manera en cada una de ellas.^{12,13,34,40}

Absorción: los cuerpos que reciben la luz, ya sean oscuros, claros o incluso transparentes, impiden que una parte de los rayos lumínicos regresen al medio del que proceden. Este principio es el que ocasiona el fenómeno de la visión. Así según la inclinación de los haces de luz pueden llegar a reflejar en alguna capa y salir sin llegar a la dentina, y otros vuelven a reflejarse en la superficie interna del esmalte volviéndose hacia la dentina.^{11,40}

Difracción: el efecto de la difracción da una imagen de la dentina mayor de lo que es en forma de sombra que se conoce como penumbra. En otras palabras, la manera en que se perciben los mamelones y otros efectos atrapados en el esmalte bajo distintas condiciones lumínicas son la anatomía de una ilusión.¹¹

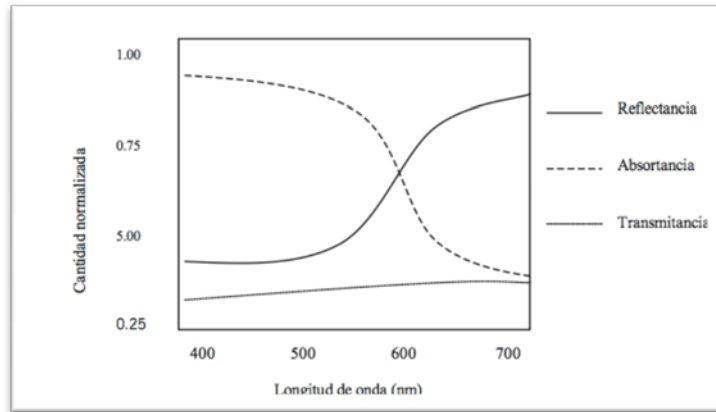


Figura 12

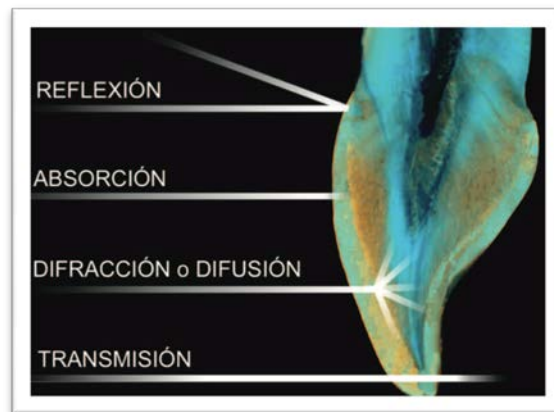


Figura 13

1.4.2 PRINCIPIOS Y PROPIEDADES DEL OBJETO

El color de los objetos se caracteriza, desde un punto de vista físico, por la reflectancia espectral difusa, que nos indica qué fracción de luz de una determinada longitud de onda es reflejada por el cuerpo. La parte de luz que no se refleja puede absorberse, transmitirse o dispersarse.

Las propiedades ópticas del diente dependen de su estructura, siendo la capa más externa y dura el esmalte.¹³ La dentina es más blanda, con menos minerales y en el centro está la pulpa que contiene el paquete vasculonervioso. Se sabe que las piezas dentarias no son monocromáticas y que el tercio medio es la zona más representativa del mismo. El tercio incisal es muy translucido, por lo que su percepción cromática está afectada por el fondo, mientras que el color del tercio cervical influye la cercanía del margen gingival.^{11,13,41}

Distinguimos tres factores determinantes del color del diente, estos son, el color específico del diente, el color tonal que se produce con las variaciones producidas por los efectos de luz y sombra y el color reflejado o ambiente que es la influencia que tienen los colores reflejados por los cuerpos más próximos por los que

está rodeado.^{11,12} Es por esto por lo que la ropa del paciente y el maquillaje del mismo pueden alterar la percepción del color.¹¹

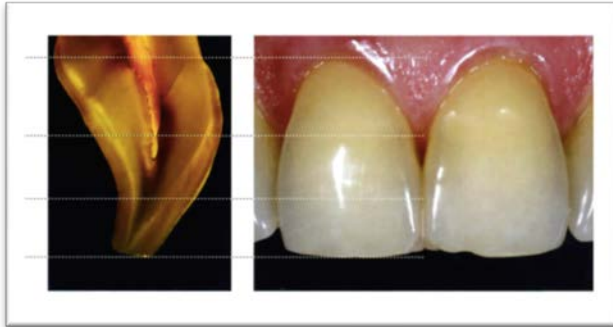


Figura 14: Es común observar en las estructuras dentales saturaciones más altas en el tercio cervical (más espeso) con una reducción gradual para saturaciones más bajas en el tercio incisal (más fino).

Más adelante se describen los fenómenos ópticos que se dan en los dientes naturales y el estudio de las estructuras internas de los dientes considerando las propiedades y estructura del esmalte y de la dentina.

1.4.3 EL OBSERVADOR.

El ojo humano constan de unas células receptoras del color que son los llamados conos y bastones. La función de los primeros consiste en dar color a la visión en niveles normales de iluminación (visión diurna) y perciben los colores primarios. La función de los bastones es la de dar visión monocromática en niveles bajos de iluminación (visión nocturna) y perciben luminosidad.¹² Estos fotorreceptores, localizados en la retina, recogen parte del espectro visible y lo transforman en impulsos eléctricos, que son enviados al cerebro, donde dicha información es procesada y, junto con los recuerdos de experiencias cromáticas anteriores, constituyen nuestra percepción del color.⁴⁴

La percepción del color por el sistema visual resulta de la existencia de los conos. Existen tres tipos, que se diferencian según la longitud de onda para la que son sensibles dentro del espectro de luz visible. Así los conos S tienen un pico de sensibilidad que aparece a los 420 nm, 530 nm para los conos M, y 560 nm para los conos L.^{40,56} Un 65% de estos fotorreceptores son sensibles al color rojo, un 33% al verde y aproximadamente un 2% al azul. Esto último explica que la sensibilidad cromática del ojo humano esté basada en el sistema rojo-verde-azul (Sistema RGB). Nuestro ojos constan de más células especializadas en trabajar con las longitudes de onda correspondientes al rojo que a ningún otro color, por lo que cuando el entorno en que nos encontramos nos envía demasiado rojo se produce una saturación de información en el cerebro de este color, originando una sensación de irritación en las personas.

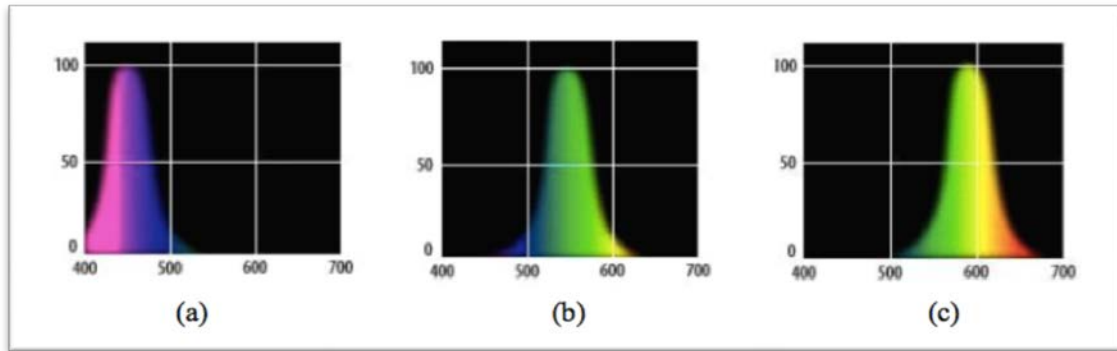


Figura 15: Los conos perciben el rojo, el verde, el azul y todas sus combinaciones. Los bastones perciben los grises o el valor.

La elección del color depende de numerosos factores dependientes del observador como el subjetivismo y el cansancio visual.³¹ Cuanto más tiempo se observa un objeto, menos sensibilidad se tiene para advertir diferencias en el color dentro de él, ya que se produce saturación de los receptores nerviosos perdiéndose sensibilidad para el amarillo-anaranjado. Para recuperarla hay que mirar un objeto o fondo de color gris neutro (complementario). Se recomienda no hacer mediciones de más de 5 segundos, siendo la primera elección la mejor.³¹

Muchos individuos padecen alguna forma de ceguera, ya que tienen incapacidad para distinguir algunos colores. Está bien documentado el hecho que las deficiencias en la visión del color es mas común en los hombres que en las mujeres.⁴³ En un estudio, Wasson^{31,42} reportó que encontró esta deficiencia en el 9.3% de los hombres y no en las mujeres.

1.5 DIMENSIONES DEL COLOR

Antes de realizar un análisis detallado del color de una pieza dentaria , hay que tener en cuenta algunas nociones fundamentales sobre los componentes del color, el conocimiento de los fenómenos ópticos que se dan en los dientes naturales y el estudio de las estructuras internas de los dientes considerando las propiedades y estructura del esmalte y de la dentina.⁴⁰

En 1931, Bruce Clark fue el primero en someter a los dientes naturales a medición y análisis científico del color y manifestó la importancia de las dimensiones del color.¹⁸ Es importante entender y tener presente que este concepto incluye tres dimensiones que lo determinan. Así, el color es el conjunto del tinte, del valor y de la intensidad. De los tres componentes, el valor (también llamado luminosidad o brillo) es el más influyente, seguido del croma (también llamada saturación o intensidad) y por último el tono o matiz.^{3,11,45,30,37}

1.5.1 TONO, TINTE O MATIZ

Corresponde a la primera dimensión del color y a la más sencilla de comprender. Es la sensación por la cual observamos la longitud de onda de la luz reflejada de los objetos y que, normalmente, llamamos color. Es el estado puro del color, sin el blanco o negro agregados. Se trata de una variable cualitativa que nos permite distinguir una familia de colores de otra, el rojo, el verde del azul y los colores púrpuras. No tiene una importancia crítica debido a la escasa y parecida gama que tienen los colores que presentan los dientes. No obstante la percepción del matiz está influenciada por factores ambientales. Los tres colores primarios (rojo, azul y verde) representan los tres matices primarios, y mezclando estos, se pueden obtener los demás matices o colores. Dos colores son complementarios cuando están uno frente a otro en el círculo de matices (círculo cromático). Se escoge con las guías de colores. Hay diferentes guías, que distribuyen los matices con diferentes nombres. En la guía vita, tienen cuatro, A (marrón), B (amarillo), C (gris), D (rosa) y en La guía Chromascop los colores, están divididos en 5 matices y descritos en valores numéricos, 100 (blanco), 200 (amarillo), 300 (naranja), 400 (gris), 500 (marrón).³ La fuente primaria del color dentario es la dentina y su tonalidad se encuentra en el intervalo del amarillo o amarillo-rojo.^{11,15,42}

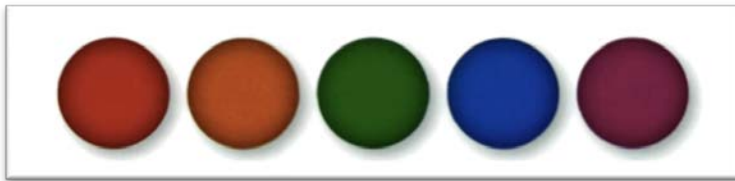


Figura 16: El matiz es la calidad que distingue una “familia” de colores de otra. Es el nombre del color. Por ejemplo: rojo, naranja, verde, azul y morado.



Figura 17: La escala de tonos Lumin Vacuum (Vita), trabaja con cuatro matices: A (marrón), B (amarillo), C (gris), D (rosa).

1.5.2 CROMA, SATURACIÓN O INTENSIDAD

El croma o saturación, es la dimensión del color que representa el grado de pureza de un determinado matiz en particular, es decir, la cantidad de pigmento de un determinado matiz. Es una variable cuantitativa. En la guía vita, se observan diferentes niveles de saturación para el mismo matiz codificado por números. Dentro del matiz A de la guía vita, tenemos 5 niveles de croma, siendo el A1 el menos saturado de marrón y el A4 el más saturado. En Chromascop, el croma se define por valores numéricos

crecientes de 10 (menos saturación) a 40 (más saturación).³ Esta dimensión limita muy bien el tinte y se confunde frecuentemente con el valor. Viene dictada por la dentina y está influenciada por la translucidez y espesor del esmalte, en los dientes las intensidades más elevadas están en la región cervical, mientras que las más bajas están en la región incisal.^{3,42,46}

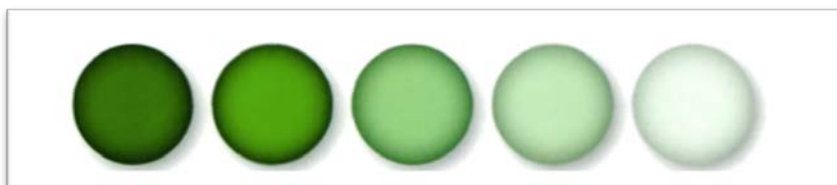


Figura 19: Croma o saturación, corresponde a la cantidad de pigmento de un determinado matiz. En la figura, grados diferentes de saturación del matiz verde.

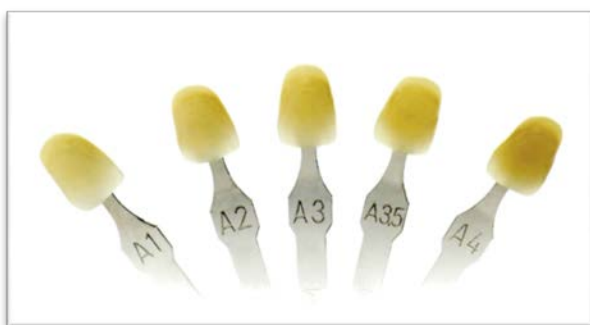


Figura 20: En la escala Lumin Vacuun (Vita) los colores se dividen en familias de matiz con diferentes niveles de croma. A corresponde con el matiz (marrón) y los números (1, 2, 3, 3.5 y 4) sus niveles de saturación.

1.5.3 VALOR O BRILLO, LUMINOSIDAD O CLARIDAD

El valor, brillo o luminosidad es una propiedad acromática que indica la cantidad de gris presente en el diente, basado en la escala que empieza por blanco (valor elevado) y termina en negro (valor bajo). Un valor elevado permitirá a la restauración una prominencia marcada, dando más énfasis a esos dientes y un valor más bajo, los hará menos predominantes. Puede considerarse tal vez como el atributo más importante del color. Si es correcto, el observador no podría percibir las pequeñas dispersiones de matiz o croma. El ojo humano está mucho más desarrollado para percibir el valor que el matiz o croma. Dentro de la retina hay alrededor de 100 millones de bastones que son los responsables de la percepción de la cantidad de luz y unos 7 millones de conos que son los responsables de la percepción del matiz y del croma. Una restauración odontológica con matiz e intensidad correctos pero con un bajo valor, hará que el diente luzca más apagado, por el contrario, si el valor es alto, lucirá notoriamente más blanco y plano. Hablar de alto valor (blanco) o bajo valor (tendencia al gris) es pertinente cuando trabajamos con resinas y cerámicas. La guía vita, viene ordenada en función de matiz/saturación. En la guía Chromascop, los valores del 10 al 40, no solo indican el aumento de la saturación, sino que también, la disminución de la luminosidad.^{3,30} El valor se ve afectado sobre todo por la calidad y transparencia del esmalte.⁴⁶ Los valores pueden determinarse clínicamente entornando los ojos y comprobando la cantidad de luz que llega a la retina. Los bastoncillos solo transmiten una señal gris o blanca, este mecanismo de los bastoncillos proporciona un medio para determinar con cierto grado de certeza la dimensión del valor.⁴²

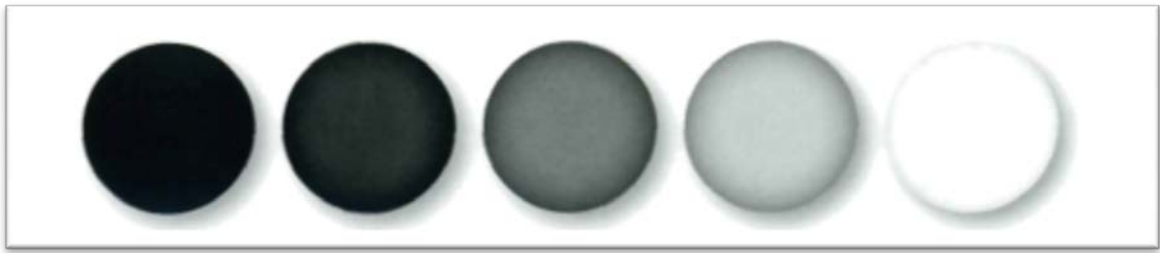


Figura 18: Valor o luminosidad es la dispersión que va desde el blanco hasta el negro, intermediado por varios tonos de gris. Es la propiedad que distingue los colores claros de los oscuros.

Este último, puede que sea el componente más importante del color y en el momento del registro de este tendrá prioridad sobre los otros componentes. Además, está íntimamente correlacionado con la textura superficial. Generalmente, el tercio medio es el más brillante. Seguido por el tercio cervical. El tercio incisal tiene con frecuencia el valor más bajo, hecho que se explica por la mayor transparencia y absorción de la luz que existe en esta zona.⁴¹ Podemos usar el brillo para crear efectos de tamaño y posición, los dientes más brillantes, en general, aparentan ser más grandes y estar más cercanos. El valor y el croma (brillo y saturación) están inversamente relacionados. Un incremento en el croma provoca una disminución del brillo. Esto ocurre principalmente en el tercio cervical, comparándolo con el tercio medio, por la presencia de dentina radicular.⁴¹

1.6 FENÓMENOS ÓPTICOS

El color natural del diente tiene una complejidad enorme y para conseguir restauraciones similares a los dientes naturales, necesitamos crear ilusiones ópticas para las cuales, además de los componentes principales, son necesarias otras dimensiones del color. Dichas características son la textura superficial, el grado de translucidez, la opalescencia, la fluorescencia y el metamerismo. Estas, a la vez que exaltan la belleza de una restauración, dificultan la selección del color.¹³

1.6.1 TRANSLUCIDEZ

Para Munsell es la cuarta dimensión del color. Él mismo, la define como una situación intermedia entre el opaco que bloquea totalmente el paso de la luz y el transparente que permite el paso de luz total.⁴ Se dice que un cuerpo es más translucido cuando el pasaje de luz es mayor y se considera menos translúcido cuando ocurre lo contrario.^{3,4,5,13} La morfología de la superficie influye en la reflexión de la luz, jugando un papel importante en la percepción del color. Si la luz incide en un objeto liso y los rayos reflejados son paralelos, esto crea una reflexión de luz con efecto de espejo; mientras que si incide en una superficie irregular como en el caso de los dientes, los rayos reflejados son dispersos en varias direcciones dando como resultado una reflexión de luz difusa y por tanto la translucidez del mismo.¹⁰ El esmalte de un

diente nuevo no es muy translúcido, y la dentina resulta muy opaca. El esmalte de un diente más viejo se hace más fino y translúcido incluso transparente. La dentina se vuelve más opaca pero más saturada. Las guías de colores sólo proporcionan una translucidez estándar generalmente inferior a la de los dientes naturales, por lo tanto, estas nunca pueden dar la información correcta sobre la translucidez de un diente que depende mayoritariamente del esmalte.¹²



Figura 21

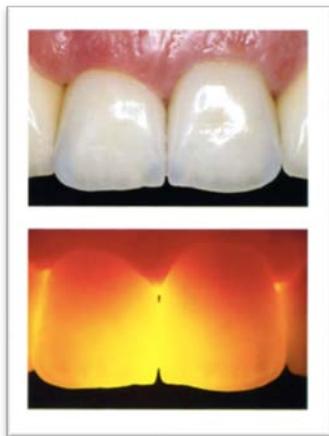


Figura 22

1.6.2 OPALESCENCIA

Se define como el fenómeno de refracción, difusión e interferencia luminosa simultáneas en una suspensión, emitiendo coloraciones brillantes y vivas, variables según la incidencia de la luz.^{3,44} Cuando la luz se refleja por un objeto aparece de un color diferente al que resulta cuando la luz se transmite a través de él. En los dientes naturales, este fenómeno va a depender de la cantidad de esmalte sin dentina, de la dentina y el diseño de sus mamelones, de la translucidez, pues cuanto más translúcido sea el esmalte, más perceptible es la opalescencia y por último también va a depender de la inclinación de la cresta incisal en relación al ángulo de reflexión.³ Los dientes tienen distintos grados de opalescencia, según la distribución de los cristales de hidroxiapatita del esmalte.^{49,50}

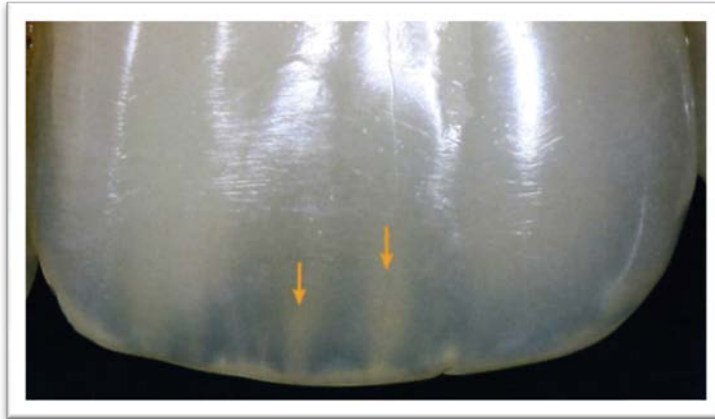


Figura 23: Las pequeñas reflexiones amarillo-rojizas que señalan las flechas en los mamelones de los dientes es un fenómeno óptico que ocurre por el efecto especular acentuado de esa región y es conocido como opalescencia.

1.6.3 FLUORESCENCIA

Se define como la capacidad de absorber la energía luminosa y remitirla en una longitud de onda diferente. Es la emisión de luz visible que ocurre cuando cuerpos fluorescentes son expuestos a rayos excitantes tales como los rayos ultravioleta. Este fenómeno es importante porque, dependiendo de la luz incidente en las estructuras, su luminosidad puede ser aumentada por el fenómeno de la luminiscencia. Así una sonrisa variará su luminosidad dependiendo de la luz que la ilumine y esto es necesario tenerlo en cuenta en la elección del color y para evitar errores por metamerismo.³⁵ La fluorescencia es un parámetro complementario que hemos de considerar puesto que hace que el diente se vea más brillante y blanco con la luz del día.^{3,11,13}

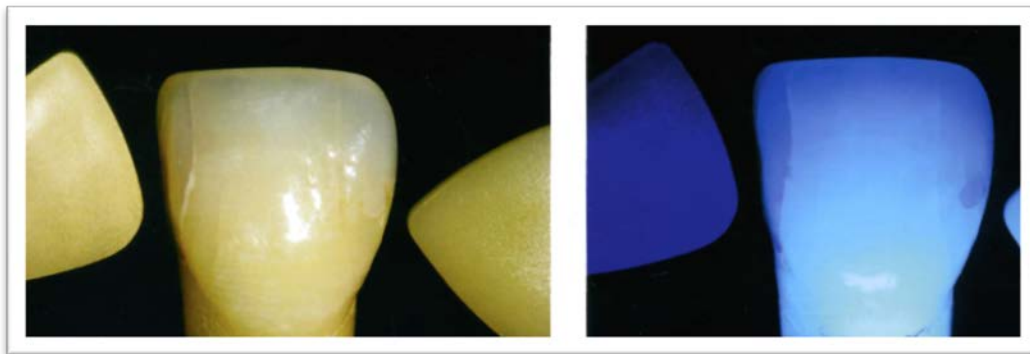


Figura 24: Los dientes bajo luz de Wood muestran la fluorescencia del diente natural. Se observa que las piezas de la derecha tienen similar fluorescencia frente a la de la izquierda que tiene mucha menos.

1.6.4 METAMERISMO

Es un fenómeno psicofísico que produce un cambio en el aspecto del color.³⁵ Se produce cuando tenemos dos muestras de color que, al verlas bajo un iluminante, tienen el mismo aspecto visual pero cuando cambiamos la luz, la igualdad entre las

muestras se rompe, pudiéndose apreciar diferencias entre ellas.¹² Esto sucede muchas veces en odontología restauradora cuando se seleccionan colores bajo una fuente de iluminación determinada. Lo aparentemente correcto se transforma en incorrecto cuando cambia la fuente de luz. El color de la luz emitida por diferentes tipos de fuentes con la misma temperatura color suele ser metaméricos pero es distinguible por observación del índice de rendimiento de color. Los pares metaméricos comparten la misma localización en el diagrama de cromaticidad de la CIE.^{4,5} Por lo tanto, para llevar a cabo una buena elección del color, es necesario observar los objetos bajo mínimo dos sistemas de iluminación diferentes y evitar interpretar colores con bajos niveles de iluminación.⁴²

1.6.5 ESTRUCTURAS INTERNAS

El diente está constituido por tres tejidos, el esmalte, la dentina y la pulpa, y su color natural depende del grosor, composición y estructura de estos tejidos que, en definitiva, son los responsables de su complejidad desde el punto de vista óptico. Estos tres parámetros evolucionan considerablemente a lo largo de la vida, influyendo en el color del diente. Cada uno de estos tejidos presenta propiedades ópticas distintas.¹¹

La macro y micro estructura anatómica de la **dentina** produce áreas de alta y baja saturación por lo que la dentina es la principal responsable de la tonalidad y el cromatismo del diente. La mayoría de la literatura científica describe que la tonalidad predominante está en el rango amarillo-rojo, pero varía en la cuantificación del mismo, siendo entre 76% y 86%, con el porcentaje restante tirando hacia el rango amarillo.²⁸ Las distintas estructuras microanatómicas, la arquitectura tubular y la anatomía global de la dentina dan lugar a áreas con diferencias en el índice de reflectancia, dando un reflejo y dispersión no homólogos de los rayos de luz. Esto da lugar a áreas de opacidad densa y de saturación del color, confiriendo a la dentina un efecto policromático. Vanini¹² en 1996 estudió este efecto y definió el término “bandas cromáticas” a los efectos policromáticos. El cromatismo está más saturado en el área cervical, gradualmente disminuyendo a través del tercio medio hasta el tercio incisal, que posee el cromatismo más bajo.⁴⁶ Vanini¹² demostró que, incluso dentro de las tres bandas generales, existen áreas de opacidad densa y de cromatismo saturado mezclado con áreas de menos saturación, dando lugar a una verdadera apariencia policromática. Los pigmentos orgánicos presentes dentro de la microestructura de la dentina son responsables de los efectos de fluorescencia, dando áreas iridiscentes azules o blancas.^{13,15}

El color observado de un diente se logra a través de los efectos combinados del esmalte y de la dentina. La dentina opaca, exhibiendo los atributos de tonalidad y cromatismo, tiene la tendencia de reducir el valor del esmalte, cambiando así el color global hacia el gris.



Figura 25

La disposición organizada inorgánica de los prismas de **esmalte**, la variación en el espesor del esmalte sobre los contornos de la dentina y la presencia de pigmentos proteicos orgánicos permiten que la luz se refleje, refracte y transmita. Las características translúcidas y opalescentes del esmalte confieren valor, además de áreas de color intenso y/o efectos opalescentes a la dentina subyacente, proporcionando brillo y vitalidad al diente. Cuanto más grueso es el esmalte, más luz se refracta y refleja, incrementando así la luminosidad y, por lo tanto, el valor, dando una apariencia más blanca. Si el esmalte es muy delgado y la dentina muy saturada (como en el área cervical) entonces la tonalidad de la dentina domina la percepción global. A medida que el esmalte se espesa y la dentina incrementa en densidad (tercio medio) también se incrementa el valor del esmalte, tendiendo a un efecto más blanco. Una cuidadosa observación del diente muestra que la naturaleza policromática de la dentina ejerce efectos similares sobre el valor, dando lugar a un patrón de variación de valor del esmalte que coincide con el patrón policromático de la dentina.¹¹

1.6.6 TINCIONES INTERNAS Y EXTERNAS

El color de los dientes está influenciado por una combinación de su color propio y la presencia de manchas intrínsecas y extrínsecas.⁴⁰ El color intrínseco del diente está asociado con las propiedades de dispersión y absorción de la luz del esmalte y de la dentina, siendo las propiedades de esta muy importantes en la determinación del color general del diente.¹¹ Una mancha intrínseca puede ser causada por compuestos químicos como fluoruros y antibióticos, defectos en el desarrollo como dentinogénesis o amelogénesis imperfecta, desórdenes hematológicos o traumas. Una mancha extrínseca se puede deber a varios factores: fuerzas atractivas como la electrostática, Van der Waals, de hidratación y fuerzas dipolo - dipolo, así como interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas y enlaces de hidrógeno.⁵¹ Las manchas extrínsecas tienen tendencia a formarse en las áreas de los dientes que son menos accesibles para el cepillado de dientes y a la acción abrasiva de la pasta de dientes y son promovidas por el tabaquismo, la ingesta dietética de alimentos ricos en taninos (vino tinto) y el uso de

ciertos agentes catiónicos tales como clorhexidina y sales de metales de estaño y hierro.^{11,12,52,53}

1.7 ORGANIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN CROMÁTICA

A lo largo de la historia muchos investigadores y artistas han intentado clasificar el color de varias maneras. La forma más conocida en que estos teóricos plantearon el estudio racional de la interacción entre los colores son los llamados círculos cromáticos. El círculo cromático es el resultado de distribuir alrededor de un círculo, los diferentes colores que conforman el segmento de la luz visible del espectro solar, descubierto por Newton.⁴⁴



Figura 26: Círculo cromático y Triángulo de Goethe.

Además de este círculo, existen otros tipos de clasificación. Se trata de sistemas que se basan en dimensiones perceptibles de colores como brillo, matiz y otros elementos, describiendo los colores mediante palabras que son fácilmente aplicables en nuestra profesión. Lamentablemente estos sistemas trabajan con dimensiones subjetivas que, aunque son excelentes para describir cualitativamente el color, son destituidos de la precisión del rigor matemático, exigiendo mucho entrenamiento y calibración para su comunicación.^{27, 44}

1.7.1 SÓLIDO MUNSELL

El sistema de color propuesto por el artista americano Albert Munsell, conocido como Sistema de Colores de Munsell, es considerado como el mejor de los sistemas basados en principios de percepción. Este autor determinó que, para obtenerse una visualización y descripción del color de forma apropiada, era necesario un sólido tridimensional en lugar de una carta bidimensional, mediante el cual sería posible mostrar la distribución de los colores a lo largo de tres dimensiones y, de esa forma, localizarlos especialmente.^{3,10,17} Debido a su formación artística, Munsell estableció tres dimensiones para clasificar el color. El matiz o tono (hue) es el atributo de un color que permite distinguir entre las diferentes familias de color, por ejemplo, rojos, verdes y azules. Este parámetro está directamente relacionado con la longitud de onda de la radiación lumínica. El valor (value) indica la luminosidad de un color y se corresponde con las tonalidades de gris comprendidas entre un valor de 0 (para tonos negros) a 10

(tonos blancos). El croma (chroma) es el grado de saturación y describe la intensidad o viveza de un color.^{11, 14}

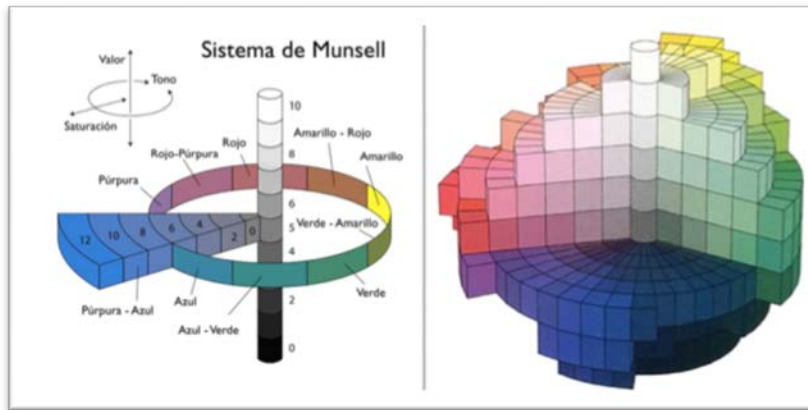


Figura 27: Munsell concibió las relaciones como un árbol cuyo tronco representa el valor, las ramificaciones en varios ángulos los matices y la distancia a lo largo del eje de cada ramificación, el croma.

El sólido tiene un eje principal que es el lugar donde se representan los colores que van desde el blanco hasta el negro (extremo superior e inferior respectivamente), su simetría polar en el eje horizontal indica, mediante el módulo del radio vector la saturación (croma) del color, cuyo tono está dado por el ángulo de ese radio vector con el eje de coordenadas. Se divide en 10 sectores que contienen los matices principales incluyendo los matices fundamentales y los matices intermedios (rojo, amarillo-rojo, amarillo, verde-amarillo, verde, azul-verde, azul, púrpura-azul, púrpura y rojo-púrpura). Cada matiz principal se divide en diez partes, ocupando este el centro de la partición. En los límites entre la partición de dos principales se sitúan los matices secundarios. La expresión de los matices principales y secundarios se realiza mediante letras. En la denominación del color, la letra indica el sector tonal o matiz, el número que le acompaña indica el subsector o tonalidad. El primer número que sigue indica el valor o luminosidad. La siguiente cifra señala la saturación o croma.^{3, 27, 28}

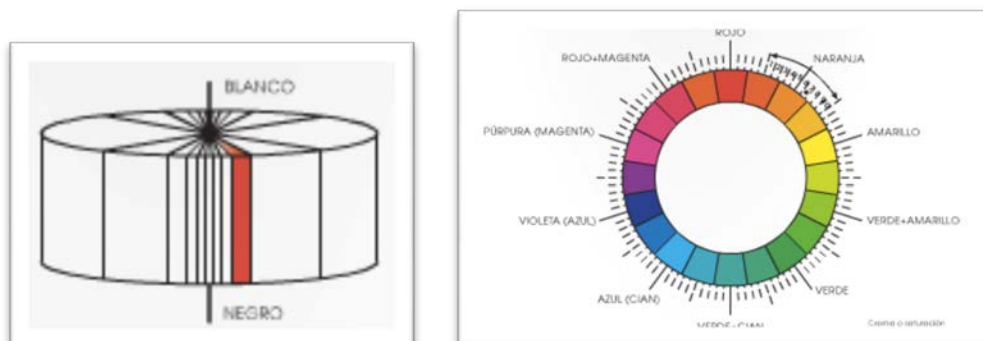


Figura 28



Figura 29

1.7.2 SÓLIDO OSTWALL

Este sistema se basa en colores marginales y sus combinaciones. Está constituido por dos conos unidos por su base. El corte de un plano meridiano del sólido de colores, da un triángulo equilátero cuyo eje vertical representa la escala de grises que va desde el negro (vértice inferior) al blanco (vértice superior), extendiéndose en el plano horizontal hasta el vértice que representa el color puro o “franco”, como lo denomina Ostwald. El círculo se divide en ocho colores diferenciados: rojo, púrpura, ultramarino, turquesa, verde mar, verde hoja, amarillo y naranja. Cada uno está dividido a su vez en tres sectores, por lo que cada círculo tiene 24 tonos reseñados por dos cifras. Una de las principales ventajas de este sistema es su determinación, es muy sencilla, la indicación numérica establece el tono, la primera letra indica el contenido del blanco de ese tono y la segunda letra indica el contenido de negro de ese tono.^{27,32}

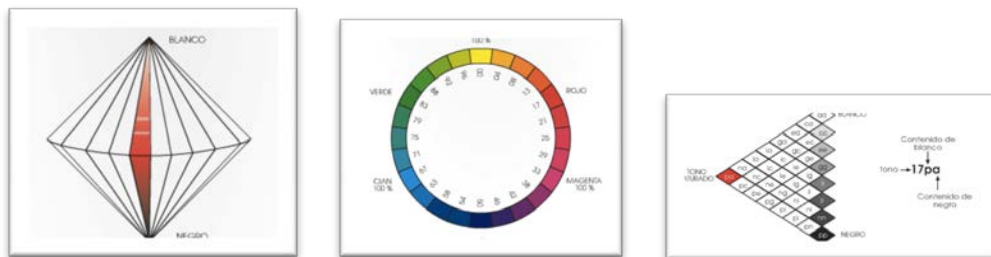


Figura 30

1.7.3 CUBO DE ALFRED HICKETHLER

El sólido es un cubo regular que se apoya sobre uno de los vértices. Los colores base (cian, magenta y amarillo) están en el extremo de las aristas que parten del blanco. Los colores que se originan de su mezcla (azul, verde y rojo) están en el extremo de las aristas que salen del negro. Cada arista está dividida en diez partes ortogonales perpendiculares a ellas mismas y numeradas de 0 al 9, esto supone una división del sólido en 1000 partes. La diagonal que une el vértice de apoyo con su opuesto constituye la escala de gris, estando el negro abajo (vértice de apoyo) y el blanco arriba (vértice opuesto). A su vez cada vértice de color tiene en su opuesto, su no color, originando en el centro del cubo y por unión de todos los vértices opuestos

un tono gris neutro (50%). Cada color queda determinado por tres cifras. La primera indica el grado de amarillo, la segunda establece el grado de magenta y la tercera expresa la cantidad de cian contenida en la mezcla.²⁷

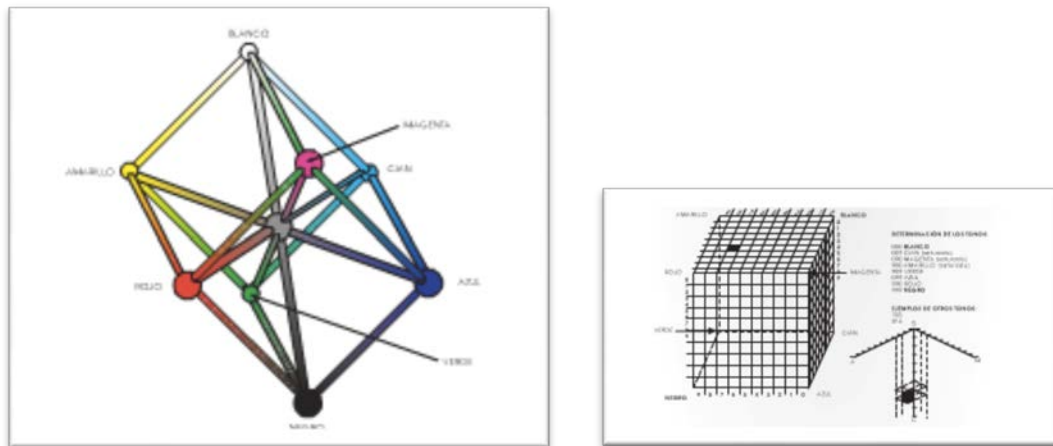


Figura 31

1.8 SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL COLOR NUMÉRICOS^{7,16,21,27,47}

Para simplificar el proceso de selección del color fueron creados aparatos como el espectrofotómetro que miden el reflejo espectral de un color y lo traduce en valores numéricos reconocidos internacionalmente. En realidad, la representación matemáticamente exacta de un color implicaría la especificación de su distribución espectral, pero el color también puede ser representado mediante una terna de valores que son las coordenadas matemáticas del espacio del color. Puede pensarse en él como un espacio tridimensional en el que cada punto color puede representarse por sus coordenadas. Existen diversos métodos para establecer la correspondencia entre la distribución espectral del color y una terna de valores. Los más usuales en los estudios colorimétricos de física son: CIE Yxy, CIELab y CIELCh.

La Comisión Internacional de Iluminación (usualmente conocida como CIE por las iniciales de su designación en francés: Comisión Internationale de l'Éclairage) fue fundada en 1931. Es la principal autoridad internacional en el campo de la luz y la iluminación. Es una organización dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de información entre sus países miembros sobre todas las materias relacionadas con la ciencia y el arte de la iluminación. Desde su creación hace más de 90 años las normas y las recomendaciones técnicas desarrolladas por la CIE son unánimemente aceptadas en todo el mundo. La CIE es reconocida como la más alta autoridad en todos los aspectos de la luz y la iluminación. Como tal, ocupa una posición importante entre las organizaciones internacionales. La CIE es única, como organización mundial, para intercambio de información en la ingeniería de la iluminación, radiometría, fotometría y colorimetría y en el desarrollo de patrones internacionales, recomendaciones y procedimientos de trabajo. La CIE ha sido

reconocida por la Organización Internacional para la Normalización (ISO) como una corporación de normalización internacional. La Resolución 10/89 del Consejo de la ISO establece que la CIE es la corporación de normalización internacional sobre “aspectos fundamentales de evaluación metrológica y aplicaciones de la luz y el color, incluyendo otros aspectos de la energía radiante en el rango óptico del espectro”.¹⁶

En la década de los treinta quedaron establecidos como estándares mundiales el conjunto de funciones (a partir de los valores triestímulo: tinte, valor e intensidad) mediante los cuales el ojo humano reconoce la coincidencia de un color. Esto supuso la posibilidad de utilizar la medición fotométrica para especificar colores.²⁷

Los miembros de la CIE son los llamados “Comités Nacionales” que representan áreas geográficas (usualmente países reconocidos), que cuentan con la representatividad y la cooperación de todas las entidades interesadas en las materias de luz e iluminación dentro de su correspondiente territorio. En la actualidad la CIE cuenta con 37 Comités Nacionales. En el caso concreto de España, la representación en la CIE viene ostentada por el “Comité Español de Iluminación” (CEI), que en 1987 se constituyó como entidad independiente de la Sociedad Española de Óptica.^{13,48}

1.8.1 SISTEMA CROMÁTICO CIE Yxy (Triángulo CIE o sistema CIE xyz)⁵⁶

Establecido en 1931 por la Comisión Internacional de Iluminación, como un sistema de valoración de los colores basado en una reelaboración matemática del sistema RGB. Con este nuevo sistema se pretendía facilitar los cálculos, ya que en el primitivo sistema RGB al estar basado en posiciones físicas de las longitudes de onda, resultaba más complejos. Las variables matemáticas se indicaban como “x” (valor matemático del rojo), “y” (valor matemático del verde) y “z” (valor matemático del azul-violeta).¹²

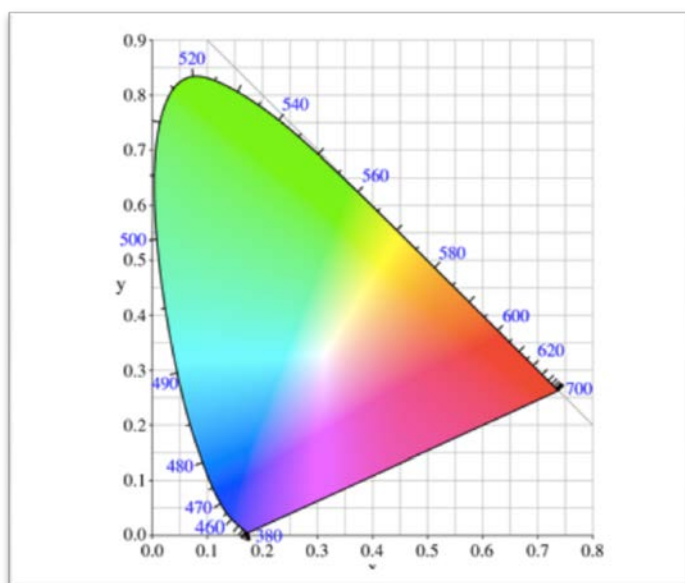


Figura 32: Diagrama de cromaticidad CIE xyY.

Tono o tinte: la composición de un tono viene dada por los valores triestímulos x, y, z; según la siguiente ecuación $x+y+z=1$, la cual no es sino la conversión

matemática de la ecuación utilizada en el espacio RGB ($R+G+B=W$). Como la curva espectral está encerrada en un triángulo equilátero, se establece sobre un sistema de coordenadas, donde el eje X indica el valor del rojo y el eje Y indica el valor del verde; el cálculo del componente violeta (azul) se realiza mediante la siguiente ecuación: $Z=1-(X+Y)$.¹¹

Saturación o intensidad: la pureza de un color, definida como pureza de excitación se establece con un máximo de saturación en el perímetro y un mínimo en el punto E. Este punto se establece como el punto donde las energías de las tres longitudes de onda primarias son idénticas; originando la recomposición de la luz blanca: $x(0,33) + y(0,33) + z(0,33) = 1$. La pureza de excitación (PE) indica el porcentaje de saturación de un tono, siendo 100% si está en el perímetro y 0% si esta en el blanco.¹¹

Luminosidad o valor: se corresponde con el parámetro Y. Para su indicación es necesario desarrollar una representación tridimensional del triángulo. La parte superior indica el blanco en el centro y el mayor valor de los colores y en la parte inferior indica el negro (ausencia de luz).¹¹

1.8.2 SISTEMA CROMÁTICO CIELab (1976)^{11,13,28,49}

Siguiendo el planteamiento de la teoría de los opuestos, el espacio cromático se construye en torno a tres ejes. El eje amarillo-azul (violeta), el eje verde-rojo y en el centro la escala de grises, establecida por el eje blanco-negro. Siendo como expresión volumétrica una esfera.

El sistema de orden de color CIELAB fue desarrollado por la Commission Internationale de l'Eclairage en 1931. Se utiliza generalmente en la investigación y el color se base en la normalización de color de fuentes de luz y de los observadores. Es independiente del dispositivo de salida creando colores coherentes con independencia de los dispositivos concretos, como monitores, impresoras u ordenadores utilizados para crear o reproducir la imagen.¹¹

Se puede identificar cada color de forma precisa mediante sus colores a y b y su brillo L. Los tres parámetro del modelo representan la luminancia del color. Una sombra específica se define por su ubicación dentro del sistema CIELab usando tres coordenadas: L^*, a^* Y b^* . L^* indica la claridad relativa y es una escala continua de sombras y grises) corre de arriba abajo. El máximo valor para L^* es 100, que representa el blanco perfecto, mientras que $L^*=0$ representa el negro perfecto. Los ejes a^* (tinte en el eje de coordenadas verde/rojo) b^* (tinte, en el eje de coordenadas azul/amarillo) no tienen límites numéricos específicos. Positivo a^* es de color rojo, mientras que el a^* negativa es verde. El b^* positivo es amarillo y el b^* negativo es azul.^{6,35,36}

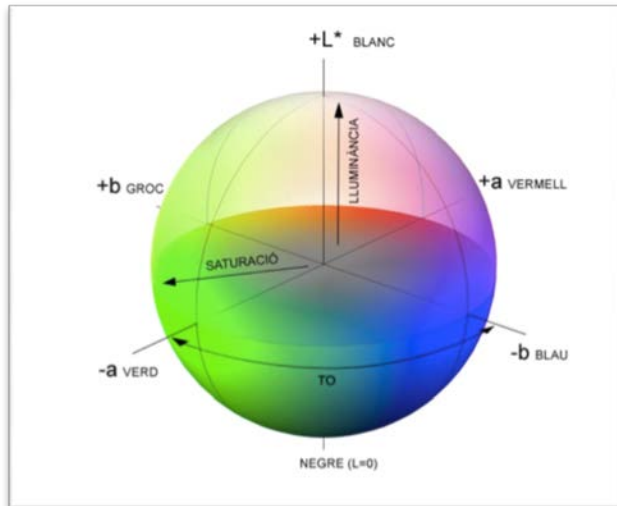


Figura 33: El espacio cromático CIE Lab con el eje de luminosidad vertical L (value) y los ejes horizontales de color a y b. Estos últimos definen el plano del color, en que la intensidad cromática aumenta radialmente hacia fuera a partir de la ausencia de color central. Los colores se hallan en forma de mezclas pasando del azul al rojo, amarillo y verde en el plano del color en torno al eje central incoloro. En los planos cromáticos más altos los colores aparecen más claros, en los planos más bajos, más oscuros.

Es el modelo de color más completo. Se usa habitualmente para describir todos los colores que puede ver el ojo humano. Las diferencias de color que se perciben como iguales en este espacio de color tridimensional, tienen distancias iguales entre ellas. Esta diferencia se expresa mediante el valor delta-E (AE).

1.8.3 SISTEMA CROMÁTICO CIECh²⁷

En la actualidad junto con los valores CIELab suele aparecer la conversión de estos al sistema CIECh, debido a que establece una forma más intuitiva.

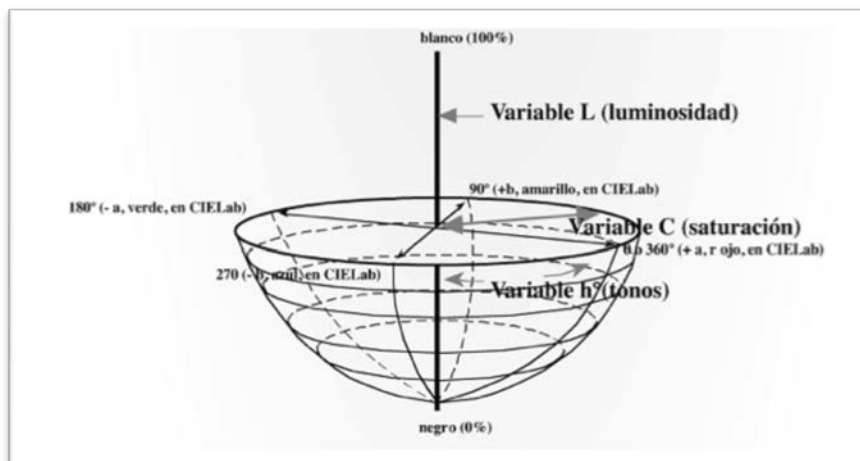


Figura 33: Espacio cromático CIELab.

L : indica el valor y se corresponde con el establecido en el sistema CIE $L^*a^*b^*$ con la fórmula Adams-Nickerson.

C : marca la saturación, establecida por la distancia entre el punto acromático y el tinte. Conversión de datos desde CIE $L^*a^*b^*$.

H : indica el tinte establecido como un ángulo de color. Se convierten los ejes CIE $L^*a^*b^*$ a los siguientes ángulos: +a* (rojo) 0° a 360°; +b* (amarillo) 90°, -a* (verde)

180° y $-b^*$ (azul) 270°.

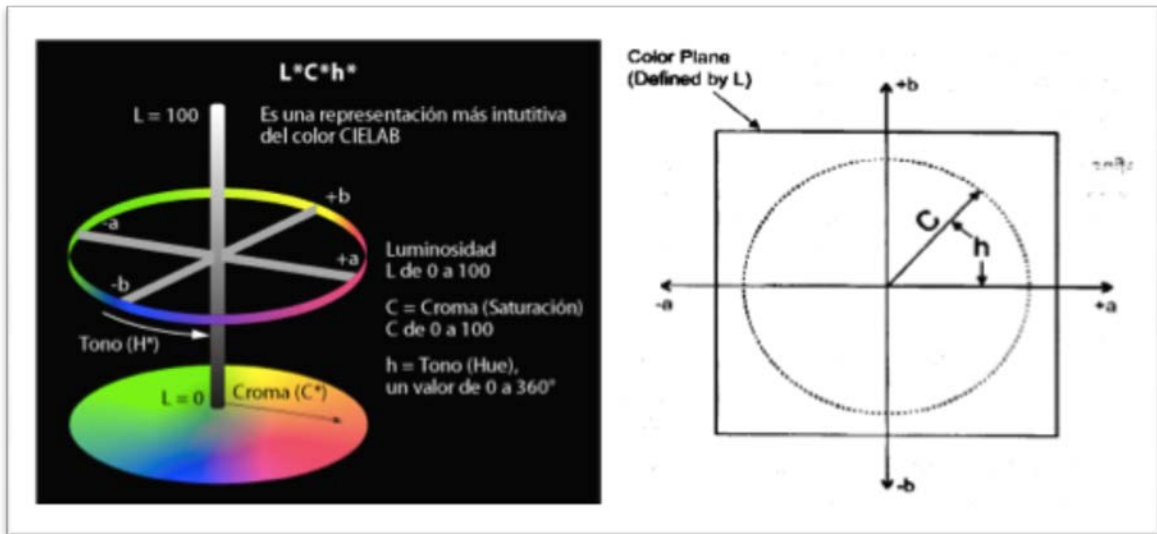


Figura 34: Espacio cromático CIE L*a*b* y representación del croma C* y el ángulo de tono h°, respectivamente.

1.8.4 ESPACIO CROMÁTICO DENTAL

Para su mejor comprensión por parte de los clínicos, la zona del espacio cromático correspondiente a los dientes naturales se ha descrito como un subespacio cromático con forma de plátano en los sistemas CIELab y CIE L*a*b*. Este espacio cromático dental está situado entre el rojo claro y el amarillo claro; tiene forma alargada y se extiende paralelamente al eje de luminosidad.⁵⁰ Los valores extremos de este subespacio cromático, es decir, los del diente más claro existe en la naturaleza y los del diente más oscuro, son, en el sistema CIELab los valores de 78/1/12 y 62/6/31, respectivamente. En el sistema CIE L*a*b* estos valores son de 78/12/86 y 62/32/78, respectivamente.

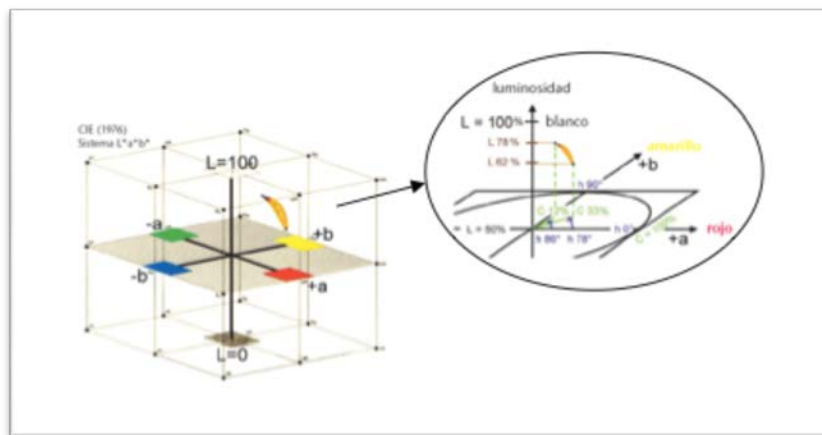


Figura 35: Posición del espacio cromático dental dentro de los espacios cromáticos CIELab y CIE L*a*b*.

De la figura se puede deducir que los dientes que presentan mayor luminosidad tienen un mayor ángulo de tono (una mayor proporción de amarillo) y menor croma. Sin embargo, cuanto más oscuro sea el diente (menor luminosidad) mayor es su croma y menor el ángulo de tono, es decir, mayor proporción de rojo.¹¹

1.8.5 EVALUACIÓN DEL COLOR . Diferencia de color o ΔE (Delta E)

El delta-E permite medir los cambios de matiz y densidad. Es la descripción matemática de la distancia entre dos colores. Para calcular el delta-E de dos colores, se necesitan sus valores L^* a^* b^* . El delta-E es la distancia entre los dos puntos dentro del espacio de color $L^*a^*b^*$.

La diferencia de color o delta E (ΔE) define la diferencia (visual y/o medible) entre el color obtenido con respecto al color de referencia y se indica como la distancia entre las coordenadas del color obtenido y las coordenadas del color de referencia. El ΔE se define por las posibles desviaciones de cada una de las variables. Su cálculo es igual en todos los sistemas, diferenciándose sólo en las notaciones de las variables propias de cada uno de ellos.

Diferencia de color y evaluación^{30,50}

DELTA E (AE)	CALIDAD
AE < 1	Excelente.
AE entre 1 y 2	Buena
AE entre 2 y 4	Normal
AE entre 4 y 5	Suficiente
AE > 5	Mala. Fuera de Rango de aceptación de la ISO 12.647-2.

AE superiores a 2 supone que la diferencia de color sea cada vez más apreciable. De tal forma que un AE entre 2 y 3 resulta evidente pero gusta, es apreciable y un AE entre 3 y 4 supone una diferencia de color evidente pero no perjudica al trabajo. Un AE entre 4 y 5 está al límite de la aceptación y un AE superior a 5 resulta inaceptable.

El tipo de color también influye en la capacidad de apreciación, por ejemplo, el ojo humano es mucho más sensible a los cambios en los niveles de gris y tonos medios siendo más que evidente un $AE=3$, mientras que el mismo valor en verde prácticamente no notaríamos diferencia.

1.9 REGISTRO DEL COLOR

La capacidad de evaluar correctamente el color dental y de comunicársela al técnico protésico es determinante para alcanzar el éxito estético de las restauraciones dentales.^{37,39} Durante décadas, la elección del color ha sido un procedimiento subjetivo^{24, 31, 54} y, aunque se ha automatizado con equipos digitales más objetivos, los principios básicos permanecen inmutables.³¹ El primer principio, consiste en el uso de varios tipos de luz, es decir, examinar los dientes bajo diversas condiciones lumínicas, por ejemplo con luz solar, luz artificial y con el flash en las fotografías digitales, este método contribuye a evitar el metamerismo. El segundo principio es adquirir experiencia con una guía de color dada y el sistema de porcelana o acrílico correspondiente.⁵ El tercer principio es utilizar un diente como referencia para determinar la información complementaria del color, pues, no sólo se debe ofrecer datos generales del color básico del diente sino también una información más detallada que muestre las características individuales de un diente intacto del paciente que servirá de referencia y que habitualmente será o el contralateral o el antagonista. Esto se lleva a cabo realizando fotografías.^{31, 54,55}

1.9.1 MÉTODOS SUBJETIVOS

1.9.1.1 GUÍAS DE COLORES

Las guías de colores consisten en tabletas que contienen varios incisivos centrales de diferentes colores que se comparan con el diente natural buscando el más parecido. Estas guías son la forma más frecuentemente usada por los odontólogos para tomar el color dental y transmitirlo, así como también la forma de poder entenderse con el protésico dental.¹⁹ Sin embargo este sistema de tomar el color presenta una serie de limitaciones: unas debidas a la uniformidad de color que presentan los dientes de tableta a diferencia del diente natural cuyo color varía, siendo más oscuro en la zona gingival que incisal, presentando diferentes curvas de reflexión y de texturas superficiales; otras debidas a la inestabilidad del color que presentan los dientes acrílicos, y las diferencias de color que se aprecian entre distintos lotes.^{11, 15, 43} La gama de colores de las guías no cubre el espacio de color completo del diente natural y en la mayoría de las guía los tonos están dispuestos sistemáticamente en su espacio de color.^{46,50,52,56} Además de estas limitaciones propias de la diferencia entre el diente natural y el acrílico, la percepción subjetiva del clínico que toma el color es otro factor que condiciona el resultado final de la valoración del color y puede sufrir múltiples variaciones dependiendo de la hora del día, color de las paredes de la consulta, vestuario y maquillaje del paciente así como la diferente percepción según de que observador se trate.^{11, 19}

A pesar de lo anterior, actualmente, para definir el color de una restauración, lo más común es realizar una comparación entre el diente natural y los dientes presentes en las guías de color disponibles, guía VITA-LUMIN VACUUM (classical), guía VITA-3D MÁSTER y Chromascop.^{31, 55}



Figura 36

GUÍA DE COLORES VITA-LUMIN VACUUM (classical)

La guía vita-lumin vacuum (classical) es el referente para las guías de color. Se divide en cuatro grupos, en cuatro tonalidades: A (marrón-rojizo), B (amarillo-rojizo), C (gris) y D (gris-rojizo). Al utilizarla, lo primero que se determina es a qué grupo pertenece al diente, es decir, al grupo A, B, C o D, por lo que primero que determinamos es el tono. En esta guía, además hay varios niveles de cromatismo para el mismo tono. Por ejemplo para el tono A, tenemos el A1; A2; A3; A3,5; y A4 siendo A1 la menos saturada y A4 la mas saturada de color. La luminosidad disminuye con el número. Esta guía consta, de las siguientes tabllas: A1; A2; A3; A3,5; A4; B1; B2; B3; B4; C1; C2; C3; C4; D2; D3 y D4. Uno de sus inconvenientes es que sus variaciones del color no están sistemáticamente distribuidas en el espacio cromático dental.^{4, 36,37, 56, 57}



Figura 37

A pesar de ser la más ampliamente utilizada en clínica, por su extrema facilidad de uso, esta escala posee muchos inconvenientes, entre los que podemos destacar⁵⁶:

- En caso de ser usadas para la toma de color a la hora de realizar una restauración cerámica, las tablillas poseen un espesor inadecuado, que normalmente varía entre 4 a 5 mm, y que deberá ser reproducido en solamente 1 a 1.5 mm de cerámica
- Las tablillas no cubren todo el espacio cromático dental, es decir, en ella no están representados todos los posibles colores de los dientes naturales humanos.
- Sus variaciones de color no están sistemáticamente distribuidas en el espacio cromático dental.

Para una correcta selección del color dental, el fabricante recomienda ordenar las 16 tablillas en orden decreciente de luminosidad: B1, A1, B2, D2, A2, C1, C2, D4, D3, A3, B3, A3.5, B4, C3, A4 y C4.⁵⁷

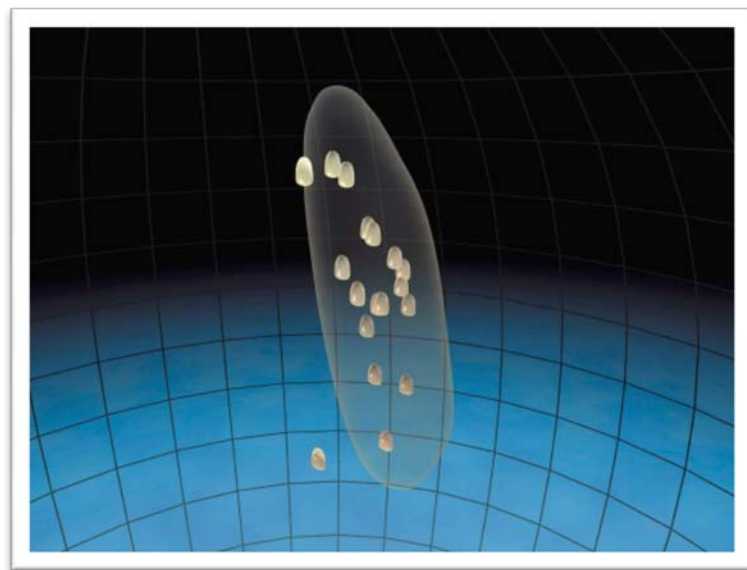


Figura 38: Distribución de las tablillas de la guía VITAPAN Classical en el espacio cromático dental

GUÍA DE COLORES VITA-3D MÁSTER³⁵

En febrero de 1998 Vita lanzó al mercado esta nueva escala con el objetivo de minimizar los problemas de la classical. Esta guía contiene 26 tablillas que están divididas en 5 grupos de acuerdo con su luminosidad. Dentro de cada grupo, las tablillas se ordenan según el croma creciente (vertical hacia abajo, 1; 1,5; 2; 2,5 y 3) y según el tono o matiz (horizontalmente amarillento L, medio M y rojizo R). Lo primero que se hace para seleccionar el color con este tipo de guía es definir el valor, después se determina el croma o saturación y por último determinaremos el matiz. Está

ordenado así para facilitar el trabajo al ojo humano según su capacidad y por la importancia de cada elemento con el fin de obtener el mejor resultado.⁵⁹ En cada tablilla se aprecian una serie de números^{35,36,56, 58}:

- El situado más arriba indica el grupo de valor al que pertenece la tablilla, del 1 al 5, donde 1 el más luminoso y 5 el menos luminoso.
- La letra indica el tono que puede ser M (medio), L (amarillento), R (Rojo).
- El segundo número o posterior a la letra indica el croma (1; 1,5; 2; 2,5 y 3) en orden creciente.



Figura 39

Las muestras de tono se agrupan en 6 niveles de luminosidad, cada uno de los cuales tiene variaciones de croma y matiz en las fases espaciadas. La guía de tonos se espacia en fases (AE) de 4 unidades CIELab en la dimensión de luminosidad y dos unidades CIELab en las dimensiones de matiz y croma. La diferencia entre la fase de luminosidad y el color parece un método lógico para reducir el numero de muestras de tonos necesarias en la guía debido a la manera en que se perciben visualmente las unidades CIELab.

Al usar esta guía, primero se selecciona la luminosidad, luego el croma y finalmente el tono o matiz. Entre sus ventajas, que son apuntadas por el propio fabricante, están:

- La mejor distribución de muestras dentro de las variaciones de colores de los dientes naturales existentes.^{48,59,}
- Distribución sistemática de las tablillas en el espacio cromático que ocupan los dientes naturales.^{48, 60}

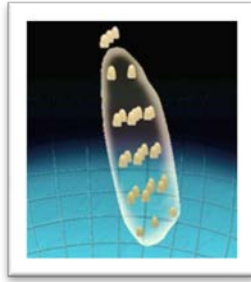


Figura 40: Distribución de las tablas de la guía VITA 3D-MÁSTER en el espacio cromático dental

GUÍA DE COLORES CHROMASCOP (Ivoclar Vivadent)

La guía de colores Chromascop es la guía utilizada por Ivoclar Vivadent en sus sistemas cerámicos. Presenta 20 muestras divididas en 5 grupos de matices, según la siguiente numeración 100(blanco), 200(amarillo), 300(marrón claro), 400(gris) y 500(marrón oscuro). Cada grupo posee 4 muestras. Ordenadas en croma creciente, con el número 10 correspondiendo al más bajo y el 40 al más elevado. Se utiliza de forma similar a la Vita Classical, eligiendo primero el matiz y luego el nivel del croma.^{36,37}

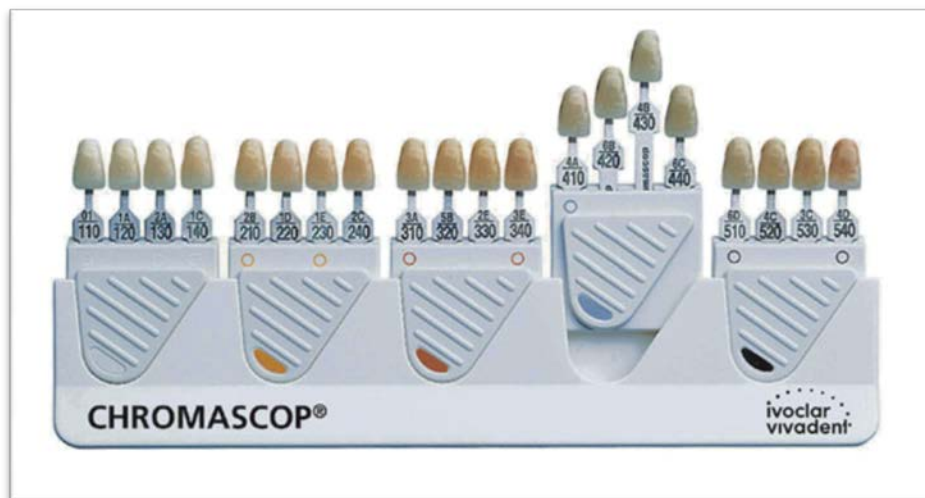


Figura 41

1.9.1.2 FILTRO POLARIZADO

Se trata de una lámpara que emite luz polarizada permitiendo una mejor apreciación del color y una mejor visualización de la profundidad destacando los detalles más pequeños. La función de este filtro es ordenar las vibraciones de los haces de luz y lograr que oscilen en una misma dirección. Los filtros polarizados cortan el paso a los rayos luminosos que ya habían sido polarizados y se lo permiten a los que no lo han sido eliminando los reflejos.⁶¹ Este fenómeno fue observado por vez primera en el siglo XVII por el científico holandés Cristian Huygens, que descubrió que si los

cristales de ciertos minerales se colocaban con sus ejes longitudinales perpendiculares impedián el paso de la luz.⁶²



Figura 42

El instrumento con luz polarizada más conocido es el Smile lite. Está dotado de luz LED calibrada a una temperatura de 5500°k que equivale a la luz natural de la mañana. Smile lite produce luz natural, neutra y segura en cualquier momento de la mañana independientemente del tiempo que haga fuera. La calidad de la luz permite distinguir la tonalidad, el valor y el croma del diente natural haciéndose más evidente la estructura interna y percibiendo una imagen nítida y sin brillos. La abertura rectangular a través de la cual se observa el diente define un área precisa que elimina todas las fuentes de ruido externo, como las luces o los reflejos. Este instrumento es que puede ser utilizada por el odontólogo y el por el protésico, con el fin de trabajar con la misma calidad de la luz y por lo tanto tener las mismas referencias.⁶²



Figura 43

1.9.2 MÉTODOS OBJETIVOS

El análisis instrumental del color, ofrece ventajas frente a las técnicas visuales, debido a que proporcionan lecturas objetivas, independientes de las condiciones ambientales que pueden ser cuantificadas y obtenidas con rapidez.⁵ Dentro de estos instrumentos están, entre otros, los espectrofotómetros y los colorímetros.¹⁹ No todo son ventajas en lo que respecta a estos sistemas ya que su coste y complejidad pueden restringir su uso generalizado en las consultas o laboratorios dentales.^{6,19,30, 63,64}

1.9.2.1 ESPECTROFOTÓMETROS^{2, 65, 66}

Estos aparatos están entre los más precisos y útiles para registrar el color en odontología. Miden la cantidad de luz de la energía reflejada por un objeto en intervalos de 1 a 25 nm a lo largo del espectro visible. Un espectrofotómetro contiene una fuente de radiación óptima, un medio de dispersión de luz, un sistema de medición óptico, un detector y una forma de convertir la luz obtenida a una señal que pueda ser analizada. Del espectrofotómetro se obtiene una curva de reflectancia espectral o de transmisión que es una función de la longitud de onda. Los datos espectrales de la superficie de los dientes pueden ser incluidos y representados como una curva de luminosidad y pueden ser comparadas con las curvas de luminosidad de las guías de colores a fin de definir un color, por lo tanto, los espectrofotómetros dentales tienen una base de datos de las guías de colores incorporadas. Los datos obtenidos a partir de espectrofotómetros deben ser manipulados y traducidos en una forma útil para los profesionales dentales. En comparación con la observación del ojo humano, o de las técnicas convencionales, se ha encontrado que los espectrofotómetros ofrecen un aumento del 33 % en la precisión y objetividad, con una coincidencia de color en un 93.3 % de los casos.^{6,37}

Estos aparatos de lectura nos pueden dar el color general del diente o nos puede hacer una subdivisión en tercios y asignarle a cada parte un color. También son capaces de realizar un mapa cromático del diente gracias a un software. Los mapas cromáticos obtenidos suelen ser muy detallados y, en ocasiones permiten la personalización de las guías, que pueden confeccionarse con combinaciones particulares de materiales restauradores.^{6, 47}

Hay varios tipos de espectrofotómetros:

SPECTROSHADE MICRO: Se trata de un espectrofotómetro que combina cámara digital con un espectrofotómetro LED. Posee un ordenador con un software que analiza los datos.¹ El sistema de guía de posicionamiento de los dientes, que se muestra en la pantalla táctil LCD, se utiliza durante la medición de color.¹⁹ Analiza el color del diente e indica el estándar disponible cromático más cercano para la reconstrucción. Esto calcula la diferencia numérica entre el diente natural y el seleccionado coloreando los términos del matiz, croma y valor, enviando al laboratorio la información comprensiva para facilitar su trabajo.⁶⁶ El Spectroshade micro puede analizar e identificar el color de un diente sobre su área entera o por tercios. Las imágenes y datos espectrales pueden ser transferidos a un ordenador personal vía USB, el LAN Inalámbrico o

la TARJETA SD, y enviados al laboratorio en tiempo real por el correo electrónico o en el formato de CD-ROM.^{8, 67, 68}



Figura 44: Espectrofotómetro Spectroshade micro.

CRISTALEYE: combina los beneficios del Spectroshade con la fotografía digital.⁶⁹ Esto ha permitido mejoras en el campo óptico y en el procesado de la imagen teniendo como consecuencia una obtención más precisa del color. La principal ventaja de estos es que permite comparar una imagen del diente natural mediante superposición en las guías de colores virtuales.³⁰ Es de vital importancia controlar la luz exterior en el momento de hacer la foto que luego usaremos para comparar.³⁰ Usa luz LED con una inclinación de 45 grados, posee una pantalla de cristal líquido, una cuna de calibración y un programa para transmitir los datos al ordenador. Antes de usarlo, hay que calibrarlo y determinar el color general, después, se adjunta la tapa de contacto y empieza a tomarse el color que automáticamente, x USB pasa al ordenador y directamente mide el color en cervical, medio e incisal.^{2, 5, 67}



Figura 45: Espectrofotómetro Crystaleye

VITA EASYSHADE COMPACT: El VITA Easyshade (Vident) es un espectrofotómetro de reflectancia intraoral que consiste en una unidad base y una pieza de mano con una punta de sonda de 5 mm. La unidad dispone de una fuente de luz de amplio espectro, haces de fibra óptica que impiden la toma del color si se detecta un movimiento inadecuado o una mala angulación y dos espectrofotómetros. Uno mide la luz reflejada por superficies poco profundas (menos profundas que la dentina) y el otro las superficies más profundas (más profunda a partir de la dentina). Cuando se enciende la unidad, la luz se proyecta en las estructuras más profundas de los dientes y se refleja. Este reflejo es captado por el espectrómetro que analiza la distribución espectral de la luz y, finalmente, se determinan los valores CIE L * C * H *. La luz del ambiente no nos va a influir en la captación del color porque no aporta nada a la superficie del esmalte y por tanto no es captada por ninguno de los dos espectrofotómetros. Tiene muchas ventajas, pues es inalámbrico, pequeño, portátil, con pilas, se pueden valorar dientes unitarios, partes de dientes y también confirmar el color de una restauración. La punta de la sonda se coloca a 90° con la superficie del diente.⁶⁷



Figura 46 : Espectrofotómetro Vita Easyshade compact.

Muchos estudios in vivo en los que se compara el color de los dientes tomado visualmente frente al color tomado por espectrofotometría, sugirieron que la determinación espectrofotométrica de color es mucho más exacta y reproducible que el método visual convencional.^{30,63,64}

1.9.2.2 COLORÍMETROS²⁴

Otro de los aparatos que actualmente se utiliza para medir el color son los colorímetros. Se trata de un instrumento con filtros de los componentes verde, rojo y azul de la luz que utilizan 3 o 4 fotodiodos de silicio los cuales tienen una corrección espectral que simula las funciones estándar del ojo humano sobre la superficie a evaluar.¹² Este se basa en el principio de absorción. Esta es proporcional a la densidad del objeto, por lo que a mayor densidad, mayor es la absorción que definirá el color. Mide la luz del filtro en las zonas verdes, azules y rojas del espectro visible. Los colorímetros no registran la reflectancia espectral y pueden ser menos precisos que los

espectrofotómetros, además el envejecimiento de los filtros puede afectar la precisión.^{46,70} Incorporan una fuente de luz propia, pueden tomar el color de diferentes zonas de un diente y tienen la posibilidad de usar posicionadores en la zona del diente en la que queremos evaluar el color.¹ La punta lectora que es muy útil para superficies lisas y pulidas, no lo es tanto para las superficies convexas de los dientes y estos ponen en duda la fiabilidad del aparato.⁶⁵

El más conocido es el **X-Rite Shade visión**, es un dispositivo inalámbrico que utiliza la tecnología de precisión de medición óptica. Este instrumento captura el color natural de los dientes de un paciente y una vez que esta información se carga en el ordenador, el software asigna valores de sombra sobre la base de las guías de colores dentales. Nos proporciona una imagen del diente a través de la utilización de tres bases de datos separadas, por gingival, medio e incisal.^{8,30} Son más fáciles de usar y más baratos que el espectrofotómetro.



Figura 47: Colorímetro X-Rite Shade Vision.

Los colorímetros son más simples que los espectrofotómetros. Los primeros usan filtros de color para separar la luz que les llega en sus componentes rojo, verde y azul y en consecuencia hay tres conjuntos de valores en cada medida. Los espectrofotómetros, sin embargo, dividen el espectro de la luz visible en franjas separadas y distintas, y mide el número de fotones que cae en cada una de ellas.^{6,67}

Los colorímetros, a diferencia de los espectrofotómetros, sólo tienen 3 o 4 filtros, el cuarto filtro es un filtro de densidad neutra para la escala del gris. Los colorímetros sólo analizan datos sobre tres estímulos para un determinado objeto luminoso. Los espectrofotómetros despliegan una reflexión espectral o curva de transmisión que es en función de la longitud de onda. A partir de la curva de transmisión espectral pueden calcularse los datos con triple estímulo para un determinado objeto luminoso. Se ha encontrado que las mediciones mediante espectrofotómetro bajo condiciones de luz estandarizadas probablemente son más fiables y exactas que las obtenidas por discriminación visual. Los espectrofotómetros, a diferencia de los colorímetros, son bastante más complejos y producen un conjunto de mediciones diferentes.⁵⁹

Los colorímetros incorporan una serie de ventajas, como son: incorporar una fuente de luz no depender de las condiciones de iluminación del entorno, tienen la capacidad de poder tomar el color de diferentes zonas de un diente (mediante una punta pequeña) y poseen la posibilidad de estandarizar, mediante posicionadores, la zona del diente en la que modificamos el color.

Pero tienen el inconveniente de que su aplicación en la clínica dental se ve dificultada por la superficie convexa de los dientes, lo que complica la correcta colocación de la punta lectora del colorímetro, lo que a su vez resulta esencial para obtener mediciones fiables.^{11,24,54} También se puede ver afectado el rendimiento de estos instrumentos por la translucidez, la no uniformidad de color de los dientes, el envejecimiento de los filtros y el metamerismo.^{11,46}

1.10 FACTORES PRINCIPALES Y CONDICIONES IDEALES PARA LA TOMA DEL COLOR

Para que una restauración luzca lo más natural posible y el paciente al sonreír muestre una dentadura estética y agradable, acorde con sus características y personalidad, varios autores proponen seguir una serie de principios:

- El diente testigo que servirá de modelo para la selección de color, tiene que ser un diente completamente sano, libre de toda restauración dental, tratamiento de conductos radiculares y fracturas. Estar completamente limpio y pulido en todas sus superficies, quedando exento de todo tipo de manchas.^{11,37}
- Estar aislado de los dientes vecinos por medio de una plantilla gris claro, con una pequeña ventanita, que deje ver únicamente el diente testigo. Además indicar al paciente, que el día de la toma del color de sus dientes, procure vestirse con ropa que no sea demasiado oscura. Si el paciente es mujer, tendrá que quitar todo el carmín de sus labios, parte visible del rubor, brillos metálicos y demás.^{11,42}
- La combinación de tonos se debe hacer con iluminación equilibrada y en un medio adecuado con paredes de color gris o pastel. La luz es muy importante, ya que dependiendo de la fuente de luz, es la refracción de ella por el objeto que la recibe y puede producirse el fenómeno de metamerismo, por lo que se recomienda utilizar una fuente de luz natural, con una orientación norte y preferentemente en la mañana, de esta manera tendremos más precisión para escoger el color correcto.^{11,35}
- La selección del color se debe realizar al principio de la consulta. El color del diente aumenta de valor cuando los dientes están secos. Es necesario humedecer el diente testigo, para que luzca su color y brillo, con toda su naturalidad.^{37,69}
- Deben usarse separadores de mejillas para dejar la zona intraoral libre.
- Mantener la boca del paciente a la altura de los ojos del clínico, aproximadamente a 33 cm de distancia.⁴²

- Si el diente y la muestra del tono tienen características superficiales diferentes, al humectar la superficie de ambos es más fácil eliminar las diferencias.⁴²
- Los tonos se deben combinar rápidamente, en menos de 5 segundos, con la muestra de color colocada justo al lado del diente que se va a evaluar. Esto garantiza que el fondo del diente y de la muestra del tono sea el mismo, algo esencial para que la selección sea precisa. El profesional debe ser consciente de la fatiga ocular.^{31,37,40, 42}
- El odontólogo debe descansar los ojos entre cada evaluación centrándose en una superficie gris neutra inmediatamente antes de cada observación.³⁷
- Para seleccionar el matiz apropiado, se recomienda comparar el canino porque tiene el croma más alto del matiz dominante.⁶⁹
- El odontólogo puede seleccionar un valor adecuado entrecerrando los ojos.⁴⁴
- El número de muestras de tonos se debe reducir y separar al aproximadamente tres lo antes posible. Posteriormente habrá que seleccionar nuevamente una o dos de las muestras de tonos que combinen mejor.
- La combinación de tonos se debe confirmar en una o dos visitas del paciente y con otro miembro de la clínica. También se recomienda que la selección del tono se confirme bajo distinta iluminación.
- Si no se puede seleccionar un tono exacto, se debe seleccionar el tono con menor croma y mayor valor por que se puede utilizar la caracterización extrínseca para aumentar el croma y reducir el valor.
- La primera dimensión cromática que se determina es el valor o claridad del diente, seguida de la saturación y tonalidad.^{11,37,45.}

1.11 REQUISITOS BÁSICOS DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA

Según Seigel, la medición se refiere generalmente a la asignación de números a las observaciones, de tal modo que los números sean susceptibles de análisis. Kerling⁶⁸ afirma que la medición es la asignación de números a objetos o eventos según ciertas reglas. En resumen, la medición se refiere a la cuantificación o cualificación de una variable para un estudio dado. Dado que nuestro estudio se centra en evaluar aparatos para la medición del color, tenemos que saber qué tenemos que evaluar para obtener unos resultados correctos. Los requisitos básicos para un instrumento de medición son los que se describen a continuación:

- **EXACTITUD:** Es la capacidad de un equipo de medida de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida. Para expresar esto, se indica el intervalo dentro del cual puede recaer el valor real del mensurando. Se debe evitar traducirlo como “precisión”, ya que el término precisión en inglés denota otro significado, como se verá a continuación. La exactitud es un parámetro determinante para la elección de un equipo u otro.⁸⁰
- **PRECISIÓN:** Es la cualidad que caracteriza la capacidad del instrumento de

medida para dar el mismo valor de magnitud al medir varias veces en unas mismas condiciones. Un instrumento con precisión alta implica que, al tomar muchas medidas, la dispersión en éstas es muy baja. Esta característica no guarda ninguna relación con la exactitud del instrumento.^{27,68,80}

- **REPRODUCIBILIDAD:** Es un término equivalente a la precisión cuando las medidas son tomadas de manera que entre cada una de ellas se producen cambios en las condiciones ambientales, en el observador, en la localización y ubicación o en los intervalos de medida.⁸⁰
- **REPETIBILIDAD:** Tiene un significado similar a la precisión, si bien se entiende ahora que las medidas son realizadas en un periodo de tiempo corto y, por tanto, en unas condiciones ambientales similares.⁸⁰

Se distingue entre repetibilidad y reproducibilidad refiriéndose a la primera cuando se realizan medidas sucesivas bajo las mismas condiciones, y a la segunda cuando las medidas se realizan bajo diferentes condiciones de medida.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Aunque son varios los factores que interviene en el éxito estético de una restauración dental, muchos autores están de acuerdo en que el color es uno de los fundamentales.⁴² Definir el color ideal para que una pieza no se diferencie de su adyacente y de su antagonista, no es tarea fácil. Además de la naturaleza de la pieza dental, las condiciones del ambiente y el propio profesional, van a influir de manera decisiva en esta selección. Para la valoración y cuantificación del color existen dos tipos de sistemas, por un lado los modelos psicofísicos o subjetivos, y por otro, los métodos objetivos, los cuales representan los colores del espectro visible en forma numérica.^{31, 54, 55}

Dentro de los métodos subjetivos, el análisis por comparación con guías de color es lo más común.⁴² Sin embargo, numerosos estudios han demostrado que estos métodos presentan una gran dificultad a la hora de obtener resultados repetibles y concordantes con estos sistemas, siendo muchos los factores que influyen en el proceso. Entre estos factores destacan las características propias del operador, la fatiga cromática, la falta de uniformidad de las guías (incluso de la misma marca y tipo) y la no coincidencia de los colores registrados en las guías con el espacio de color de los dientes humanos y que no representan la totalidad de colores presentes en los dientes de la población mundial.¹¹

Dada la gran subjetividad que predominan en el proceso de toma de color convencional, se han ido desarrollando una serie de instrumentos electrónicos destinados a objetivar y facilitar el proceso para realizarlo de manera más precisa, fiable y repetible. Nos referimos a los sistemas digitales; colorímetros, espectrofotómetro y análisis de imagen con apoyo de software. La principal ventaja de los espectrofotómetros es la eliminación de la subjetividad, dada por la incorporación de una fuente de luz que les permite no depender de las condiciones de iluminación del entorno y la posibilidad de estandarizar la toma mediante posicionadores que mejora la reproductividad del mismo.³⁷ Además, las variaciones en el color asociadas a factores como la edad, el daltonismo, los cambios emocionales, el cansancio y la fatiga ocular resultan controlables con estos sistemas.^{31,37,42} Sin embargo, su elevado coste económico, y en ocasiones la complicación técnica hacen que estos sistemas estén poco integrados en el mercado, por lo que la mayoría de las mediciones del color se siguen realizando con las guías de color convencionales.

La incorporación del filtro polarizado a la odontología, parece ser una ayuda a la toma de color convencional ya que, empleando cualquiera de las guía de colores vigentes en el mercado eliminamos algunos de los factores externos que alteran la percepción como es la luz exterior. Es decir, siendo un método subjetivo, intenta objetivar la toma de color convencional. Aunque es más accesible económicamente que los espectrofotómetros para los clínico y técnicos protésicos, presenta algunas de las desventajas de los métodos subjetivos. La falta de información que rodea a este instrumento, y el poco uso en clínica del mismo, nos conduce a introducirlo en nuestro estudio.

Así pues, considerando prioritario la formación de los profesionales sobre los principios de la toma de color dental, actualmente, tenemos un amplio abanico de instrumento para medir el color. En función de las consideraciones anteriormente citadas y teniendo en cuenta la ausencia de información contrastada del filtro polarizado y la discrepancia de los resultados obtenidos en la literatura, creemos interesante evaluar como de discrepantes son las mediciones entre los diferentes sistemas. Así justificamos la realización de este estudio en el que el **principal objetivo** es:

Evaluar la concordancia de tres métodos diferentes en toma de color: guía clásica de dientes de tablilla (3D-MÁSTER), polarímetro (Luz polarizada) y espectrofotómetro (SPECTROSHADE).

Para ello se proponen los siguientes **objetivos específicos**:

1. Evaluar la concordancia intraoperador (repetibilidad) e interoperador para cada uno de los métodos utilizados.
2. Analizar la concordancia intramétodo e intermétodo de los tres sistemas empleados para el registro del color.

Las **hipótesis nulas** (H_0) planteadas para este estudio comparativo son las siguientes:

1. No existe concordancia entre los resultados obtenidos por los tres sistemas de toma de color analizados.
2. No existe concordancia entre los resultados obtenidos por los dos operadores.
3. No existe repetibilidad en los resultados obtenidos intramétodo ni intraoperador.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 DISEÑO DEL ESTUDIO.

Se trata de un estudio descriptivo comparativo observacional y transversal. Previamente a la realización del trabajo, todos los sujetos participantes fueron informados del procedimiento y nos dieron su consentimiento verbalmente para participar en este estudio.

3.2 MUESTRA. INCISIVO CENTRAL SUPERIOR.

Se seleccionaron diez sujetos alumnos de 5º curso de grado en odontología de la Universidad Complutense de Madrid y se evaluaron los 2 incisivos centrales de cada uno de ellos.

La selección del incisivo central superior se debió a los siguientes motivos:

- Presentan una gran cara vestibular con una superficie relativamente plana que favorece la medición con el espectrofotómetro.^{15, 65}
- Zona de fácil acceso, en la que no interfieren ni los labios ni las mejillas.¹⁵



Figura 48

Para la selección de los mismo, se siguieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

CRITERIOS DE INCLUSIÓN
Pacientes con incisivos centrales superiores intactos.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Piezas cariadas o con grandes reconstrucciones.
Piezas endodonciadas.

Descalcificaciones y /o tinciones intrínsecas.
Antecedentes de traumatismo.
Apiñamiento severo.
Pacientes que estén realizando o se hayan realizado hace 1 año un blanqueamiento.
Presencia de placa e inflamación gingival.
Fumadores.
Presencia de lesiones de abfracción, abrasión y erosión.

Después de hacer una revisión bibliográfica, se consideró hacer la medición del color del diente, teniendo en cuenta el tercio medio del mismo.^{11,56}

3.3 OPERADORES

Todas las mediciones fueron llevadas a cabo por dos odontólogas con la misma edad y con la misma experiencia clínica en toma de color.^{11, 14, 15} Ninguna de las dos demostró alteraciones de la visión cromática ni antecedentes de visión alterada. Previamente a la medición ambas fueron calibradas con los programas Trainer Guide y Toothguide Training Box de la casa Vita Dental (Vita Zahnfabrik). Las dos observadoras siguieron un protocolo estandarizado con cada instrumento de medida.

3.4 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA REALIZAR LOS REGISTROS DE COLOR CON LOS TRES MÉTODOS DE TOMA DE COLOR.

Los procedimientos de toma de color se llevaron a cabo en el Departamento de prótesis de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid. Todas las mediciones se realizaron entre las 10 y las 12 de la mañana con el objetivo de disponer de luz natural.^{11,29,30,38}

Se sentó al paciente en posición vertical en el sillón más próximo a la ventana y se realizó la toma de color en el tercio medio de cada pieza dentaria.⁵⁶ El color de la pared del entorno es importante, en nuestro caso, fue gris claro, expuesto en la bibliografía como el color ideal. El negro es el antagonista del amarillo que es el color predominante en los dientes y así podemos contrastar mejor, pero este es muy intenso y podría producirnos reflejos en el área de trabajo e influir en el proceso, por eso se elige el gris.³⁷

Una semana antes de realizar las mediciones se facilitaron a los pacientes instrucciones previas para que los registros estuvieran estandarizados. Los participantes fueron instruidos para acudir a la toma del color en ayunas, por lo menos, habiendo desayunado una hora antes y realizando un cepillado posterior de los

dientes para evitar que las tinciones por café o té influyan en el estudio. Treinta minutos antes de comenzar el proceso de medición, todos los dientes fueron limpiados con pasta profiláctica, utilizando un cepillo en contra-ángulo a baja velocidad. El paciente no debía llevar pintalabios, ni cristales de gafas tintados, ni prendas de colores chillones, y si las había, se taparon con un paño de color gris.

Segundos antes de comenzar el proceso cada sujeto realizó un enjuague con agua. No se empleó otro colutorio con el fin de evitar la posible absorción superficial de la pigmentación de color de los diferentes agentes presentes en estas soluciones.

Los pacientes fueron informados para evitar respirar directamente sobre la boquilla ya que esto puede empañar las pantallas tanto del Spectroshade (MHT) como del Smile lite y como consecuencia realizar lecturas inexactas del color.

Cada toma de color se realizó dos veces con cada método. Este proceso lo repetimos durante cuatro semanas con una separación de 15 días entre cada toma.

Primero se realizó una medición subjetiva con la guía dental Vita 3D master (Vita Zahnfabrik). Seleccionamos el color con este sistema siguiendo las instrucciones del fabricante, a una distancia de 33 cm, mediante observaciones cortas, colocando borde incisal de la tablilla con borde incisal del incisivo central superior. Según las recomendaciones del fabricante, se debe elegir con rapidez, aceptando siempre la primera decisión, ya que los ojos se fatigan al cabo de 5-7 segundos. Una vez anotado el color seleccionado con la guía Vita 3D Master, se procedió a la toma de color con la luz polariza. Se realiza de manera similar al método anterior, con la variación de incorporar el filtro polarizado entre el observador y el diente observado. Por último se realizó la toma de color objetiva mediante el espectrofotómetro micro siguiendo las instrucciones del fabricante.

Entre una medición y otra aplicamos glicerina sobre la pieza dentaria para evitar que el diente se deshidratara, una alternativa a la vaselina líquida es dar al paciente un vaso de agua. Este procedimiento se realizó porque si el diente se deshidrata, observaremos un color más claro y blanquecino de lo que es en la realidad y nos llevara a elegir un color excesivamente claro.⁴²

3.5 TOMA DE COLOR CON Guía 3D MÁSTER[®] (VITA[®])

Previo a la medición, cada una de las tablillas de la guía fue comprobada que coincidían con el color que indicaban, esta comprobación se llevó a cabo con el espectrofotómetro.³⁶

Obtuvimos la información básica para su uso de la página web de la casa comercial Vita - Zahnfabrik sobre la guía dental 3D-MÁSTER.⁵⁸

La primera medición realizada a cada paciente fue con la guía 3D MÁSTER. Esta guía tiene cinco grupos de colores, con los correspondientes subgrupos, donde se determina la frecuencia de selección del color. El número situado más arriba indica el

grupo de valor al que pertenece la tablilla, del 1 al 5, en orden decreciente. El número detrás de la letra indica la intensidad (1, 1.5, 2, 2.5, 3) en orden creciente. La letra indica el tinte, que puede ser M (medio), L (amarillento), R (rojo). Esta guía incorpora, además, tres colores de blanqueamiento el 0M1, 0M2, 0M3: el 0 indica alto valor, el 1, 2, y 3 el nivel de intensidad y la M el tinte o, que se sitúa en la parte central.⁵⁸



Figura 49

En la ejecución de la medición con este instrumento, se eligió primero el valor, segundo la saturación y por último el matiz.^{11,22,37} Se enfrenta la muestra de la guía con cada uno de los tercios del diente. Las observaciones se realizan en periodos cortos (menos de 15 segundos) para evitar la fatiga cromática.^{42,37} Los observadores se colocan a una distancia de 33 cm del ojo al diente.^{31,40} La secuencia de toma de color fue la siguiente:

- En primer lugar se definió el nivel del valor. Partiendo o tomando como tablilla coloreada la M.

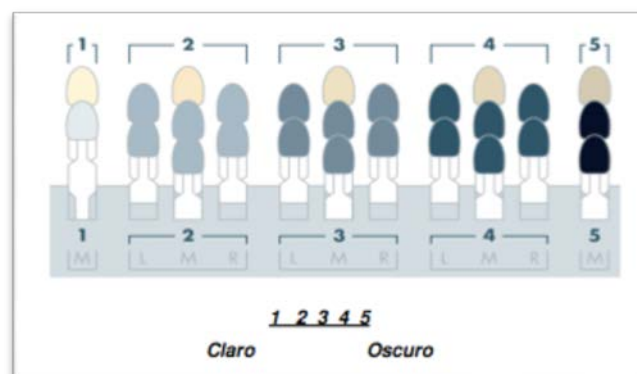


Figura 50

- En segundo lugar, se determinó la intensidad del color.

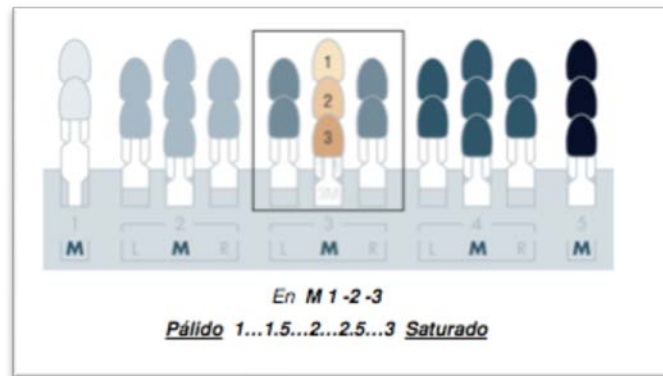


Figura 51

- Por último, se comprobó el tinte. Se comprobó si el diente natural resultaba más amarillo o más rojizo que la muestra de color elegida en M.

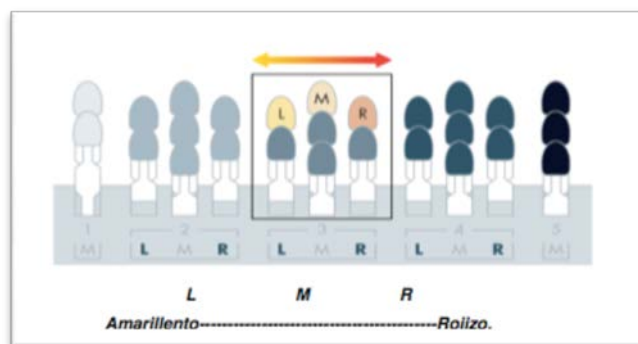


Figura 52

3.6 TOMA DE COLOR CON FILTRO POLARIZADOR Smile Lite[®] (Style Italiano[®])

La segunda medición la llevamos a cabo con la luz polarizada. Realizamos la toma de color con Smile lite. Este instrumento posee una ventana rectangular a la que se le incorpora un filtro polarizado. También incorpora seis leds que proporcionan una luz de 5.500°K. El procedimiento consiste en enfocar y encuadrar el diente que queremos medir con la lámpara en una mano y en la otra enfrenar la muestra de la guía 3D Master con cada uno de los tercios del diente. Así, se consigue hacer una toma de color convencional pero con la ventaja de que, como miramos a través del filtro polarizado, eliminamos todo los reflejos exteriores que nos pueden alterar la percepción.



Figura 53: Smile lite.

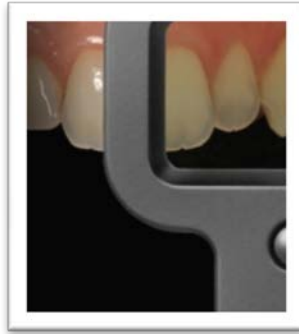


Figura 54



Figura 55



Figura 56 y 57 : Entre la imagen 56 (izq) y la 57 (drch), se puede observar la diferencia al percibir el color en la toma convencional y al percibir el color interponiendo Smile lite.

3.7 TOMA DE COLOR CON Spectroshade[®] (MHT[®])⁸

La última toma se lleva a cabo con el Spectroshade Micro. Este instrumento emplea una geometría óptica 45/0 para capturar y grabar imágenes utilizando una fuente de luz D65 (6500 °K) que se transforma en luz monocromática ($\lambda = 400-720 \text{ nm}$) a través de la rejilla. Su funcionamiento se basa en calcular la diferencia numérica entre el color del diente natural y el color seleccionado en cuanto a las propiedades de éste que hemos definido, es decir, saturación, matiz y brillo. Este instrumento realiza una valoración general del color del diente, una evaluación de las tres áreas del mismo (cervical, medio e incisal) y un análisis detallado de todos los puntos.



Figura 58

Proporciona una imagen digital polarizada, en la que podemos definir el contorno del diente que queremos medir. Realiza un análisis general de las zonas de los dientes, da una imagen de la translucidez y aporta un mapa cromático.

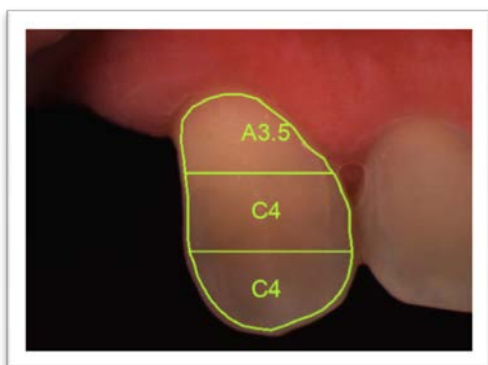


Figura 59: Análisis general de las zonas de los dientes

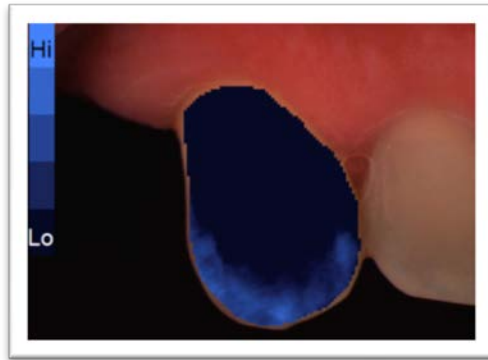


Figura 60: Translucidez

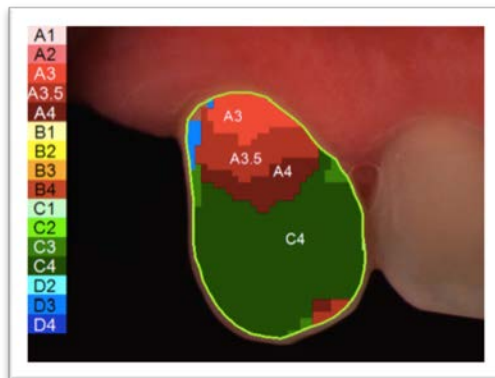


Figura 61 : Mapa cromático

Las principales ventajas de este aparato son:

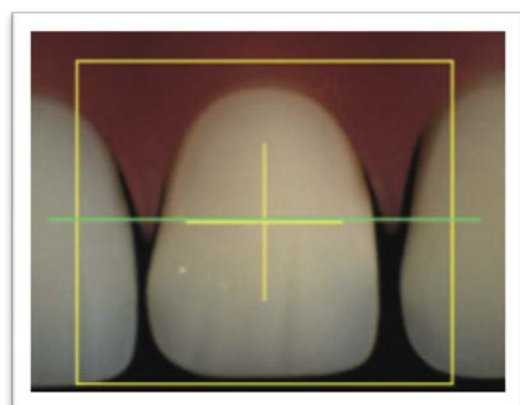
- Método objetivo sin depender del medio ambiente ni del observador.
- No influenciado por la fatiga, la edad, la experiencia y factores fisiológicos.
- Buena visualización y acceso a todos los dientes.
- Sólo necesita 1,5 segundos para evaluar un color dental y un equipo adicional mínimo.
- Permite ahorrar tiempo al paciente y reducir el número de visitas necesarias para producir un resultado aceptable.
- Prestación cuantificable.
- Precisión, exactitud, reproductibilidad y repetitibilidad.⁶³
- Realización de imagen polarizada y mapas cromáticos.
- Posibilidad de alinear correctamente el diente mediante el sistema de guía de posicionamiento del diente visualizando en la pantalla de alta resolución del espectrofotómetro.
- El ordenador interno del espectrofotómetro analiza más de dos millones de referencias por imagen. Basta una única imagen para tener todos los datos necesarios.
- Posibilidad de trasladar las imágenes y los datos espectrales a un ordenador personal mediante USB, LAN sin cables o tarjeta de memoria, y enviar al laboratorio en tiempo real mediante e-mail o CD-ROM.

La principal desventaja del Spectroshade Micro es su alto coste.

Antes de comenzar con la medición, se calibra el aparato con los azulejos de calibración del blanco y verde. La maquina automáticamente pide volver a realizar este paso cuando lo necesita. Una vez calibrado, colocamos una almohadilla en la boquilla del instrumento que iba a estar en contacto con el diente. Estas almohadillas son desechables y de uso individual. Sugerimos al paciente que mantuviera la boca ligeramente abierta, respirando por la nariz, con la lengua inmóvil y hacia abajo. Posicionamos el aparato en un área de 3 mm de diámetro sobre la zona central del tercio medio del diente, para conseguir un correcto ángulo de refracción de la luz.⁷⁵ Se debe prestar especial atención a los dientes antagonistas, los labios y lengua, para evitar interferencias que pudieran afectar negativamente al resultado. Una vez colocado el Spectroshade sobre el diente y con el paciente con la musculatura peri labial relajada, se procedió a pulsar el botón para que apareciera una luz con muchos colores. En ese momento se busca la posición exacta en la que la medición es la mas precisa. Para conseguir esta posición el dispositivo muestra una línea en la pantalla del instrumento que debe estar verde y aproximadamente en el centro de la pieza dentaria. Así la imagen pudo ser captada correctamente para medir el color del diente.



Figuras 62 y 63: Calibración del Spectroshade Micro.



Figuras 64 y 65: Enfoque del Spectroshade para conseguir la imagen ideal.



Figuras 66,67 y 68: Determinación del color del diente definiendo el contorno manualmente.



Figuras 69,70 y 71: Color del diente por tercios, mapa cromático y translucidez.

Es importante que tanto el paciente como el operador se mantengan lo más inmóviles posible ya que el aparato detecta cualquier micromovimiento y hace que la imagen detectada sea incorrecta. Realizadas todas las mediciones, se conectó el Spectroshade al ordenador y se descargaron las imágenes al ordenador. Las imágenes fueron analizadas por un programa proporcionado por el fabricante del Spectroshade, y fue manipulado por un mismo operador entrenado. El software realizó un análisis de la gradación del color más cercano a la gama de color de referencia que se había señalado anteriormente. Se seleccionó el color de la guía vita cuya longitud de onda fue más similar a la longitud de onda del diente natural. Este dispositivo expresa el color de los dientes usando las escalas de conversión CIElab basándose en los datos interiores del aparato.

3.8 MATERIAL COMPLEMENTARIO

- Micromotor y contra-ángulo.
- **Cepillo de pulir** para micromotor. Empleado para eliminar los restos de capa bacteriana y los residuos superficiales de la cara vestibular.
- **Pasta de pulir:** Pasta profiláctica Dentaflux compuesta por Dióxido de Silicio.
- **Glicerina natural** para evitar desecación de los dientes.
- **FUENTE DE LUZ:** Natural que ofrece temperaturas de color de 5.500°K o a 6.500°K. En cada toma de color, mantenemos la luz del equipo dental apagada.
- **SEPARADORES:** Para evitar que los labios y las mejillas creen sombras sobre las piezas a las que vamos a tomar el color.

3.9 PROTOCOLO DE TRABAJO

- En la primera cita se tomó el color a los dos incisivos centrales de cinco pacientes con la guía 3D-MÁSTER.
- Pasada una semana, se volvió a tomar el color a esos mismos cinco pacientes pero con la luz polarizada primero y con el Spectroshade micro después.
- Pasada otra semana, se citó a los otros cinco pacientes restantes para tomarles el color con la guía 3D-MÁSTER. Después de siete días, a estos mismos pacientes, se les tomó el color con la luz polarizada y con el Spectroshade.
- 7 días más tarde, se volvió a citar a los cinco primeros pacientes para volver a repetir el procedimiento con ellos, así hasta conseguir las 20 muestras.
- Las dos operadoras toman el color el mismo día, bajo las mismas condiciones y con los mismos aparatos.

Primer día	Toma de color a los dos incisivos centrales de cinco pacientes con la guía 3D-Master.
Segundo día	Toma de color a los dos incisivos contrales de los cinco primeros pacientes con luz polarizada primero y Spectroshade después.
Tercer día	Toma de color a los dos incisivos centrales de los cinco pacientes restantes con la guía 3D-MÁSTER.
Cuarto día	Toma de color a los dos incisivos centrales de los últimos cinco pacientes con luz polarizada primero y Spectroshade después.
Quinto día	Segunda toma de color con guía 3D-MÁSTER a los cinco primeros pacientes.
Sexto día	Segunda toma de color con luz polarizada y Spectroshade a los cinco primeros pacientes.
Séptimo día	Segunda toma de color con guía 3D-MÁSTER a los últimos cinco pacientes.
Octavo día	Segunda toma de color con luz polarizada y Spectroshade a los últimos cinco pacientes.

3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En este estudio piloto se presentarán los resultados de los primeros 16 incisivos centrales registrados. Estos resultados nos servirán para validar el método de trabajo. El análisis estadístico se realizará con el programa SPSS 20.0 Windows. Primero se realizará un análisis a nivel descriptivo. Se realizaron unas tablas de frecuencia para ver los resultados coincidentes y los colores más repetidos. Para hallar las diferencias significativas entre los tres métodos de toma de color se empleó el test de chi-cuadrado con un valor de significación $p \leq 0.05$. Para valorar el grado de concordancia se realizó el test de kappa.

4. RESULTADOS

4.1 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

Los datos obtenidos de la guía 3D MÁSTER, de la luz polarizada y del espectrofotómetro se introdujeron en una tabla de Excel para posteriormente ser analizados.

Diseñamos una tabla correspondiente a las mediciones del color general del diente:

Nombre	Operador	Diente	3DM1	3DM2	POLAR1	POLAR2	ESPECT1	ESPECT2
Carmen	Marta	diente 11	2M1	2M1	2M1	2M1	1M2	1M2
Carmen	Marta	diente 21	2L1.5	2M1	2M1	2M1	1M2	1M2
Esther	Marta	diente 11	2M2	2L1.5	2L1.5	2L1.5	1M2	1M2
Esther	Marta	diente 21	2M2	2L1.5	2L1.5	2L1.5	1M2	1M2
Rodrigo	Marta	diente 11	2M1	2L1.5	1M1	2L1.5	1M2	1M2
Rodrigo	Marta	diente 21	2M1	2L1.5	1M1	2L1.5	1M2	1M2
Aitana	Marta	diente 11	2M1	2M1	2M1	1M1	1M1	1M1
Aitana	Marta	diente 21	2M1	2M1	2M1	1M1	1M1	1M1
Alicia	Marta	diente 11	2M2	2R1.5	2M2	2M2	1M2	2M2
Alicia	Marta	diente 21	2M2	2R1.5	1M2	2M1	1M2	1M2
Laura	Marta	diente 11	2M2	2M2	2M2	2M2	2R2.5	2R2.5
Laura	Marta	diente 21	2M2	2M2	2M2	2M2	2M2	2M2
Angi	Marta	diente 11	2M1	1M1	1M1	1M1	1M1	1M1
Angi	Marta	diente 21	2M1	1M1	1M1	1M1	1M1	1M1
Lucía	Marta	diente 11	2M1	1M1	1M1	1M1	1M1	1M1
Lucía	Marta	diente 21	2M1	1M1	1M1	1M1	1M1	1M1
Carmen	Raquel	diente 11	2L1.5	2M2	2M1	2M1	1M2	1M2
Carmen	Raquel	diente 21	2L1.5	2M1	2M2	2M2	1M2	1M2
Esther	Raquel	diente 11	2M2	2M2	2M2	2M2	1M2	1M2
Esther	Raquel	diente 21	2M2	2L1.5	2M2	2L1.5	1M2	1M2
Rodrigo	Raquel	diente 11	2L1.5	2L1.5	2L1.5	2L1.5	1M2	2R1.5
Rodrigo	Raquel	diente 21	2M1	2L1.5	2L1.5	2L1.5	1M1	1M2
Aitana	Raquel	diente 11	2M1	1M1	2M1	1M1	1M1	1M1
Aitana	Raquel	diente 21	2M1	2M1	1M1	2M1	1M1	1M1
Alicia	Raquel	diente 11	2L1.5	2M2	2M2	2M2	1M2	2M2
Alicia	Raquel	diente 21	2L1.5	2M2	2L1.5	2R1.5	1M2	1M2
Laura	Raquel	diente 11	2M2	2M2	2M3	2M2	2R2.5	2R2.5
Laura	Raquel	diente 21	2M3	2R2.5	2R2.5	2M2	2M2	1M2
Angi	Raquel	diente 11	1M2	1M1	1M2	1M1	1M1	1M2
Angi	Raquel	diente 21	1M1	1M2	1M1	1M1	1M1	1M1
Lucía	Raquel	diente 11	1M2	1M1	1M2	1M1	1M1	1M1
Lucía	Raquel	diente 21	1M1	1M2	1M1	1M1	1M1	1M1

Los valores incluidos como variables fueron :

1M1, 1M2, 2M1, 2L1.5, 2M2, 2R1.5, 2L2.5, 2M3, 2R2.5

No se representan en las siguiente tablas valores superiores a 2R2.5 puesto que en ninguna de las mediciones realizadas con todos los métodos empleados y por los dos observadores se obtuvieron otros valores diferentes a los representados en las tablas.

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Con los datos obtenidos se realizó en primer lugar la estadística descriptiva con tablas de frecuencia para ver los resultados coincidentes y los colores más repetidos. Desglosaremos las tablas de contingencia intramétodo, intraoperador, intermétodo e interoperador.

1.Tabla de contingencia Intramétodo

1.1. Guía de color con dientes de referencia.

Se observó que los colores más frecuentes obtenidos en la toma de color con la guía 3DMaster, fueron el 2M1 (18), 2M2 (16) y 2L1.5 (13) coincidiendo 11 resultados de las 32 mediciones repetidas.

Tabla de contingencia 3DMASTER 1 * 3DMASTER 2

Recuento

		3DMASTER 2						Total
		1M1	1M2	2M1	2L1.5	2M2	2R1.5	2R2.5
3DMAS TER 1	1M1	0	2	0	0	0	0	2
	1M2	2	0	0	0	0	0	2
	2M1	5	0	4	3	0	0	12
	2L1.5	0	0	2	1	3	0	6
	2M2	0	0	0	3	4	2	9
	2M3	0	0	0	0	0	0	1
Total		7	2	6	7	7	2	32

1.2. Filtro polarizador.

Se observó que el color más repetido es el 1M1 (20), seguido de 2M2 (15). La distribución de colores fue menor, siendo menor el abanico de resultados observado coincidiendo 19 resultados frente a los 32 observados.

Tabla de contingencia LUZ POLARIZADA 1 * LUZ POLARIZADA 2

Recuento

		LUZ POLARIZADA 2					Total
		1M1	2M1	2L1.5	2M2	2R1.5	
LUZ POLARIZADA 1	1M1	6	1	2	0	0	9
	1M2	2	1	0	0	0	3
	2M1	3	3	0	0	0	6
	2L1.5	0	0	4	0	1	5
	2M2	0	0	1	6	0	7
	2M3	0	0	0	1	0	1
	2R2.5	0	0	0	1	0	1
Total		11	5	7	8	1	32

1.3. Espectrofotómetro.

El color más observado con el espectrofotómetro es el 1M2 (30), seguido de 1M1 (24). De igual modo que sucede con la luz polarizada, los colores observados se delimitaron a 5 frente a las 9 aparecidos en la técnica de toma de color con la guía clásica. Frente a los resultados obtenidos en las tablas anteriores, se observa que de 32 mediciones, coinciden 27.

Tabla de contingencia ESPECTROFOTÓMETRO 1 * ESPECTROFOTÓMETRO 2

Recuento

		ESPECTROFOTÓMETRO 2					Total
		1M1	1M2	2M2	2R1.5	2R2.5	
ESPECTROFOTÓME TRO 1	1M1	11	2	0	0	0	13
	1M2	0	12	2	1	0	15
	2M2	0	1	1	0	0	2
	2R2.5	0	0	0	0	2	2
Total		11	15	3	1	2	32

2. Tabla de contingencia intraoperador

2.1. Operador y guía de color con dientes de referencia.

El color más observado entre las dos operadoras usando el mismo fue 2M1, 2M2 Y 2L1.5. De manera individual, el operador uno obtuvo 5 resultados repetidos de las 16 mediciones realizadas, mientras que el operador dos obtuvo 4 coincidencias. La variabilidad de los resultados fue muy marcada en ambos operadores, observando hasta 7 colores diferentes en el caso del operador dos y 5 en el caso del operador uno.

Tabla de contingencia 3DMASTER 1 * 3DMASTER 2 * OPERADOR

Recuento

OPERADOR			3DMASTER 2						Total
			1M1	1M2	2M1	2L1.5	2M2	2R1.5	
Marta	3DMASTER 1	2M1	4		3	2	0	0	9
		2L1.5	0		1	0	0	0	1
		2M2	0		0	2	2	2	6
	Total		4		4	4	2	2	16
Raquel		1M1	0	2	0	0	0	0	2
		1M2	2	0	0	0	0	0	2
		3DMASTER 2M1	1	0	1	1	0	0	3
		2L1.5	0	0	1	1	3	0	5
		2M2	0	0	0	1	2	0	3
		2M3	0	0	0	0	0	1	1
		Total	3	2	2	3	5	1	16
	Total	1M1	0	2	0	0	0	0	2
		1M2	2	0	0	0	0	0	2
		3DMASTER 2M1	5	0	4	3	0	0	12
		2L1.5	0	0	2	1	3	0	6
Total	ER 1	2M2	0	0	0	3	4	2	9
		2M3	0	0	0	0	0	1	1
		Total	7	2	6	7	7	2	32

2.2. Operador y luz polarizada.

El color más observado entre las dos operadoras usando el mismo instrumento es de nuevo el 1M1, seguido de 2M2 y 2L1.5. De manera individual, el operador uno obtuvo 11 resultados repetidos de las 16 mediciones realizadas, mientras que el operador dos obtuvo 8 coincidencias, mejorando los resultados obtenidos con la guía de dientes de referencia. La variabilidad de los resultados fue muy marcada en ambos operadores, observando hasta 7 colores diferentes en el caso del operador dos y 5 en el caso del operador uno.

Tabla de contingencia LUZ POLARIZADA 1 * LUZ POLARIZADA 2 * OPERADOR

Recuento

OPERADOR			LUZ POLARIZADA 2					Total
			1M1	2M1	2L1.5	2M2	2R1.5	
Marta	LUZ POLARIZADA 1	1M1	4	0	2	0		6
		1M2	0	1	0	0		1
		2M1	2	2	0	0		4
		2L1.5	0	0	2	0		2

Raquel	1	2M2	0	0	0	3		3
		Total	6	3	4	3		16
		1M1	2	1	0	0	0	3
		1M2	2	0	0	0	0	2
		2M1	1	1	0	0	0	2
		2L1.5	0	0	2	0	1	3
		2M2	0	0	1	3	0	4
		2M3	0	0	0	1	0	1
		2R2.5	0	0	0	1	0	1
		Total	5	2	3	5	1	16
		1M1	6	1	2	0	0	9
		1M2	2	1	0	0	0	3
		2M1	3	3	0	0	0	6
		2L1.5	0	0	4	0	1	5
		2M2	0	0	1	6	0	7
		2M3	0	0	0	1	0	1
		2R2.5	0	0	0	1	0	1
Total		Total	11	5	7	8	1	32

2.3. Operador y Espectrofotómetro.

El color más observado entre las dos operadoras usando el mismo fue 1M2, seguido de 1M1 y 2M2. De manera individual, el operador uno obtuvo 15 resultados repetidos de las 16 mediciones realizadas, mientras que el operador dos obtuvo 11 coincidencias, mejorando los resultados obtenidos con la guía de dientes de referencia y la luz polarizada. La variabilidad de los resultados en cuanto a los colores elegidos fue menor que con los dos métodos anteriores en ambos operadores, observando 5 colores diferentes en el caso del operador dos y 4 en el caso del operador uno.

Tabla de contingencia ESPECTROFOTÓMETRO 1 * ESPECTROFOTÓMETRO 2 * OPERADOR

Recuento

OPERADOR			ESPECTROFOTÓMETRO 2					Total
			1M1	1M2	2M2	2R1.5	2R2.5	
Marta	TRO 1	1M1	6	0	0		0	6
		1M2	0	7	1		0	8
		2M2	0	0	1		0	1
		2R2.5	0	0	0		1	1
		Total	6	7	2		1	16
Raquel	TRO 1	1M1	5	2	0	0	0	7
		1M2	0	5	1	1	0	7
		2M2	0	1	0	0	0	1

		2R2.5	0	0	0	0	1	1
Total			5	8	1	1	1	16
		1M1	11	2	0	0	0	13
	ESPECTROFOTÓME	1M2	0	12	2	1	0	15
Total	TRO 1	2M2	0	1	1	0	0	2
		2R2.5	0	0	0	0	2	2
Total			11	15	3	1	2	32

3.Tabla de contingencia intermétodo

3.1 Guía de color con dientes de referencia frente a luz polarizada.

Tabla de contingencia 3dMáster * Polarímetro

Recuento		Polarímetro								Total
		1M1	1M2	2M1	2L1.5	2M2	2R1.5	2M3	2R2.5	
	1M1	9	0	0	0	0	0	0	0	9
	1M2	2	2	0	0	0	0	0	0	4
	2M1	9	0	7	1	1	0	0	0	18
3dMáster	2L1.5	0	0	2	9	2	0	0	0	13
	2M2	0	1	1	2	10	1	1	0	16
	2R1.5	0	0	1	0	1	0	0	0	2
	2M3	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	2R2.5	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Total		20	3	11	12	15	1	1	1	64

El color más observado con los dos métodos es 2M2 (30) seguido de 1M1 (29) y 2M1 (29), si bien con la luz polarizada se obtiene mayor número de 1M1 frente a la guía de color que observa una mayor frecuencia de 2M2 (color de menor valor), coincidiendo 37 de las 64 mediciones repetidas con los dos sistemas.

3.2 Guía de color con dientes de referencia frente a espectrofotómetro.

El color más observado con los dos métodos es 1M2 (34) seguido de 1M1 (33) y 2M2 (21), si bien con el espectrofotómetro se obtiene mayor número de 1M2 frente a la guía de color que observa una mayor frecuencia de 2M2 (color de menor valor), coincidiendo 11 de las 64 mediciones repetidas con los dos sistemas.

Tabla de contingencia 3dMáster * Espectrofotómetro

Recuento		Espectrofotómetro	Total

	1M1	1M2	2M2	2R1.5	2R2.5	
1M1	8	1	0	0	0	9
1M2	4	0	0	0	0	4
2M1	12	6	0	0	0	18
2L1.5	0	12	0	1	0	13
2M2	0	9	3	0	4	16
2R1.5	0	1	1	0	0	2
2M3	0	0	1	0	0	1
2R2.5	0	1	0	0	0	1
Total	24	30	5	1	4	64

3.3 Luz polarizada frente a espectrofotómetro.

El color más observado con los dos métodos es 1M1 (44) seguido de 1M2 (33) y 2M2 (20), si bien con la luz polarizada se obtiene mayor número de 1M1 frente al espectrofotómetro que observa una mayor frecuencia de 1M2, coincidiendo 18 de las 64 mediciones repetidas con los dos sistemas, valores algo mayores que la guía de color clásica.

Tabla de contingencia Polarímetro * Espectrofotómetro

Recuento

	Espectrofotómetro					Total
	1M1	1M2	2M2	2R1.5	2R2.5	
1M1	17	3	0	0	0	20
1M2	2	1	0	0	0	3
2M1	4	7	0	0	0	11
2L1.5	1	10	0	1	0	12
2M2	0	8	4	0	3	15
2R1.5	0	1	0	0	0	1
2M3	0	0	0	0	1	1
2R2.5	0	0	1	0	0	1
Total	24	30	5	1	4	64

4.Tabla de contingencia interoperador

4.1 Operador con guía de color.

Utilizando la guía de color, los resultados más repetidos por ambos operadores en conjunto fueron 2M1 (18), seguido de 2M2 (16) y 2L1.5 (13). Existieron diferencias entre el color más observado entre ambos operadores. Así, el operador uno observa con mayor frecuencia 2M1 frente al operador dos, 2M2. De las 32 mediciones repetidas, coinciden 15 resultados.

Tabla de contingencia Marta 3d Máster * Raquel 3d Máster

Recuento

		Raquel 3d Máster							Total
		1M1	1M2	2M1	2L1.5	2M2	2M3	2R2.5	
Marta 3d Máster	1M1	2	2	0	0	0	0	0	4
	2M1	3	2	5	2	1	0	0	13
	2L1.5	0	0	0	4	1	0	0	5
	2M2	0	0	0	2	4	1	1	8
	2R1.5	0	0	0	0	2	0	0	2
Total		5	4	5	8	8	1	1	32

4.2 Operador con luz polarizada.

Utilizando la luz polarizada, los resultados más repetidos por ambos operadores en conjunto fueron 1M1 (20), seguido de 2M2 (15) y 2L1.5 (13). Existieron diferencias entre el color más observado entre ambos operadores. Así, el operador uno observa con mayor frecuencia 1M1 frente al operador dos, 2M2. De las 32 mediciones repetidas, coinciden 17 resultados.

Tabla de contingencia Marta luz * Raquel luz

Recuento

		Raquel luz							Total
		1M1	1M2	2M1	2L1.5	2M2	2R1.5	2M3	2R2.5
Marta luz	1M1	7	2	1	2	0	0	0	12
	1M2	0	0	0	1	0	0	0	1
	2M1	1	0	3	0	2	1	0	7
	2L1.5	0	0	0	3	3	0	0	6
	2M2	0	0	0	0	4	0	1	6
Total		8	2	4	6	9	1	1	32

4.3 Operador con espectrofotómetro.

Utilizando la luz polarizada, los resultados más repetidos por ambos operadores en conjunto fueron 1M3 (30), seguido de 1M1 (24) y 2L1.5 (5). Con este sistema no existieron diferencias entre el color más observado entre ambos operadores, siendo prácticamente idénticos la frecuencia observada para todos los colores. De las 32 mediciones repetidas, coinciden 27 resultados, valores muy superiores a los otros dos sistemas.

Tabla de contingencia Marta espectro * Raquel espectro

Recuento		Raquel espectro					Total
		1M1	1M2	2M2	2R1.5	2R2.5	
Marta espectro	1M1	11	1	0	0	0	12
	1M2	1	13	0	1	0	15
	2M2	0	1	2	0	0	3
	2R2.5	0	0	0	0	2	2
Total		12	15	2	1	2	32

4.2.2 ESTADÍSTICA INFERENCIAL

Posteriormente se realizó la **estadística inferencial** con los valores obtenidos realizando la Chi Cuadrado de Pearson y el test de kappa para variables cualitativas. La hipótesis nula (H_0) suponía que no había diferencias significativas entre los datos obtenidos por los distintos métodos de toma de color. En primer lugar se realizaron las pruebas de chi-cuadrado para ver si existía o no significación estadística ($p \leq .05$). Una vez comprobado este supuesto, se procedió a la realización del test Kappa para ver el tipo de concordancia.

Para una buena interpretación de la resultados seguimos el criterio de Landis y cols⁷⁷, en el que al igual que nuestro estudio, empleo dos observadores. Según la estadística de Kappa las relaciones entre la observaciones de varios investigadores es 0 si los observadores criterios son completamente diferentes; mayor que 0,4 si la concordancia es moderada; superior a 0,6 si la concordancia es buena sustancialmente, y por encima de 0,8, si el acuerdo es muy bueno, casi exacto.

Valoración del Índice Kappa	
Valor de k	Fuerza de la concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

Partiendo de los valores de esta tabla y sabiendo que si $p \leq 0.05$ los resultados son significativos, pasamos a desglosar las tablas resultantes del análisis con el software de estadística SPSS 20.0.

Un problema observado a la hora de realizar e interpretar la Chi-cuadrado en todos los casos fue que la frecuencia mínima esperada era menor a 5 en el 100% de los casos. Estos valores tan bajos se pueden deber al gran número de variables observadas (9) respecto a los resultados de color del diente y al pequeño tamaño muestral (16) utilizado. Aún así, siendo un estudio piloto inicial, pensamos que los resultados iniciales pueden ser de interés.

1. Concordancia Intramétodo

1.1 Guía de color con dientes de referencia.

Se establecieron diferencias estadísticamente significativas ($p < .000$) entre las diferentes tomas de color con la guía 3DMASTER con un índice de kappa de 0.112 que se relaciona con una concordancia **pobre**.

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	92,190 ^a	30	,000
Razón de verosimilitudes	55,939	30	,003
Asociación lineal por lineal	20,791	1	,000
N de casos válidos	32		

- a. 42 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,03.

Medidas simétricas

		Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo	Kappa	,112	,085	1,396	,163
N de casos válidos		32			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

1.2 Filtro polarizado.

Se establecieron diferencias estadísticamente significativas ($p = .001$) pero el índice de Kappa nos marca una concordancia superior (0,483) a la guía 3D master, esta cifra se corresponde, según la tabla anterior con un resultado **moderado**.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	52,608 ^a	24	,001
Razón de verosimilitudes	54,286	24	,000
Asociación lineal por lineal	15,748	1	,000
N de casos válidos	32		

a. 35 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,03.

Medidas simétricas

		Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo	Kappa	,483	,105	5,497	,000
N de casos válidos		32			

1.3 Espectrofotómetro.

Se establecieron diferencias estadísticamente significativas ($p = .000$) pero en esta caso la cifra correspondiente al test de kappa (0.703) nos muestra una concordancia **buena**, valor mejor que la obtenida para los dos métodos anteriores.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	59,591 ^a	12	,000
Razón de verosimilitudes	45,681	12	,000

Asociación lineal por lineal	22,141	1	,000
N de casos válidos	32		

- a. 17 casillas (85,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

Medidas simétricas				
	Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa	,703	,106	5,705	,000
N de casos válidos	32			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

2. Concordancia intraoperador

2.1 Operador y guía de color con dientes de referencia.

De forma individual, el operador uno no obtuvo diferencias significativas ($p=0.076$) frente al operador dos que si obtuvo significación estadística ($p=0.004$). La concordancia para el primero fue **pobre** (0.137) y para el segundo se mantuvo la concordancia **pobre** también (0.086). En conjunto, se establecieron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) que se corresponde con un kappa **pobre** (0.112).

Pruebas de chi-cuadrado			
OPERADOR	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Marta	Chi-cuadrado de Pearson	14,222 ^b	,076
	Razón de verosimilitudes	17,628	,024
	Asociación lineal por lineal	8,686	,003
	N de casos válidos	16	
Raquel	Chi-cuadrado de Pearson	47,360 ^c	,004
	Razón de verosimilitudes	33,986	,108
	Asociación lineal por lineal	11,604	,001
	N de casos válidos	16	
Total	Chi-cuadrado de Pearson	92,190 ^a	,000
	Razón de verosimilitudes	55,939	,003
	Asociación lineal por lineal	20,791	,000
	N de casos válidos	32	

a. 42 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,03.

b. 15 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,13.

c. 36 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

Medidas simétricas

OPERADOR			Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Marta	Medida de acuerdo	Kappa	,137	,105	1,371	,170
	N de casos válidos		16			
Raquel	Medida de acuerdo	Kappa	,086	,122	,766	,444
	N de casos válidos		16			
Total	Medida de acuerdo	Kappa	,112	,085	1,396	,163
	N de casos válidos		32			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

2.2 Operador y luz polarizada.

Con la luz polarizada la significación estadística varió, el observador uno tuvo significación estadística (0.02) frente al observador dos que no la presenta (0.175) ambos datos analizando los resultados individualmente. El test de kappa ofrece muestra resultados de concordancia mejores que con la guía de color, pues el observador uno tiene una medida de acuerdo con una concordancia moderada (0.581). Los resultados obtenidos por el observador dos se describen con una concordancia **débil** (0.382). El resultado global presenta significación estadística ($p=0.001$) y obtiene una concordancia **moderada** (0.483).

Pruebas de chi-cuadrado

OPERADOR		Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Marta	Chi-cuadrado de Pearson	31,111 ^b	12	,002
	Razón de verosimilitudes	29,765	12	,003
	Asociación lineal por lineal	6,490	1	,011
	N de casos válidos	16		
Raquel	Chi-cuadrado de Pearson	30,311 ^c	24	,175
	Razón de verosimilitudes	32,260	24	,121
	Asociación lineal por lineal	8,409	1	,004
	N de casos válidos	16		
Total	Chi-cuadrado de Pearson	52,608 ^a	24	,001

Razón de verosimilitudes	54,286	24	,000
Asociación lineal por lineal	15,748	1	,000
N de casos válidos	32		

- a. 35 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,03.
- b. 20 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,19.
- c. 35 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

OPERADOR			Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Marta	Medida de acuerdo	Kappa	,581	,154	4,238	,000
	N de casos válidos		16			
Raquel	Medida de acuerdo	Kappa	,385	,139	3,436	,001
	N de casos válidos		16			
Total	Medida de acuerdo	Kappa	,483	,105	5,497	,000
	N de casos válidos		32			

- a. Asumiendo la hipótesis alternativa.
- b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

2.3 Operador y espectrofotómetro.

Los dos operadores obtienen resultados estadísticamente significativos ($p=,000$). El operador uno consigue unos resultados muy satisfactorios en el test de Kappa (0.901) relacionados con una concordancia **muy buena**. El observador 2 presento una concordancia **moderada**, con un resultado de 0.509 en test de kappa. El resultado global con datos estadísticamente significativos ($p=0.000$) es una concordancia buena (0.703).

Pruebas de chi-cuadrado

OPERADOR		Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Marta	Chi-cuadrado de Pearson	39,000 ^b	9	,000
	Razón de verosimilitudes	31,178	9	,000
	Asociación lineal por lineal	13,192	1	,000
	N de casos válidos	16		
Raquel	Chi-cuadrado de Pearson	26,286 ^c	12	,010
	Razón de verosimilitudes	19,833	12	,070

Total	Asociación lineal por lineal	8,616	1	,003
	N de casos válidos	16		
	Chi-cuadrado de Pearson	59,591 ^a	12	,000
	Razón de verosimilitudes	45,681	12	,000
	Asociación lineal por lineal	22,141	1	,000
	N de casos válidos	32		

a. 17 casillas (85,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

b. 16 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

c. 20 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

Medidas simétricas

OPERADOR			Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Marta	Medida de acuerdo	Kappa	,901	,094	5,114	,000
	N de casos válidos		16			
Raquel	Medida de acuerdo	Kappa	,509	,171	3,002	,003
	N de casos válidos		16			
Total	Medida de acuerdo	Kappa	,703	,106	5,705	,000
	N de casos válidos		32			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

Con los datos obtenido hasta aquí, queda anulada la tercera hipótesis planteada en el estudio. "No existe repetibilidad en los resultados obtenidos intermétodo ni intraoperador".

3. Concordancia intermétodo

3.1 Guía de color vs luz polarizada.

Los resultados obtenidos al comparar la guía 3DMASTER con el filtro polarizado son estadísticamente significativos ($p = .000$). El test de Kappa proporciona una concordancia **moderada** (0.477).

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	167,445 ^a	49	,000
Razón de verosimilitudes	105,213	49	,000
Asociación lineal por lineal	38,722	1	,000

N de casos válidos	64		
--------------------	----	--	--

a. 62 casillas (96,9%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,02.

Medidas simétricas

	Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa	,477	,073	8,104	,000
N de casos válidos	64			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

3.2 Guía de color vs espectrofotómetro.

Los resultados conseguidos entre los dos métodos son estadísticamente significativos ($p = .000$). La concordancia de los datos obtenidos entre el espectrofotómetro y la guía 3DMASTER, es **pobre** (0.077).

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	76,421 ^a	28	,000
Razón de verosimilitudes	78,026	28	,000
Asociación lineal por lineal	15,647	1	,000
N de casos válidos	64		

a. 35 casillas (87,5%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,02.

Medidas simétricas

	Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa	,077	,041	2,171	,030
N de casos válidos	64			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

3.3 Luz polarizada vs espectrofotómetro.

Con la prueba Chi-cuadrado se obtiene significación estadística entre estos dos métodos ($p=0.000$). La concordancia entre la luz polarizada y el espectrofotómetro se sitúa en 0.220, representando una concordancia **débil**.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	79,764 ^a	28	,000
Razón de verosimilitudes	69,511	28	,000
Asociación lineal por lineal	24,422	1	,000
N de casos válidos	64		

a. 34 casillas (85,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,02.

Medidas simétricas

	Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa	,220	,050	5,043	,000
N de casos válidos	64			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

Con los resultados de significación obtenidos para los tres sistemas, podemos rechazar la primera hipótesis nula, "No existe concordancia entre los resultados obtenidos por los tres sistemas de toma de color analizados."

4. Concordancia interoperator

4.1 Operador con guía de color.

Se obtuvieron resultados significativos entre las tomas de color de los dos operadores con la guía 3DMASTER. La concordancia del test de kappa es de 0.349 que se traduce con un repetitividad **débil**.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	42,738 ^a	24	,011

Razón de verosimilitudes	43,571	24	,009
Asociación lineal por lineal	16,541	1	,000
N de casos válidos	32		

a. 35 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

Medidas simétricas

	Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa	,349	,096	4,453	,000
N de casos válidos	32			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

4.2 Operador con luz polarizada.

Los resultados obtenidos en conjunto fueron estadísticamente significativos ($p=0.010$) entre las mediciones con la luz polarizada. La medida de acuerdo responde a 0.406 que se corresponde con una concordancia en el límite **moderada**.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	48,386 ^a	28	,010
Razón de verosimilitudes	50,165	28	,006
Asociación lineal por lineal	18,412	1	,000
N de casos válidos	32		

a. 40 casillas (100,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,03.

Medidas simétricas

	Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa	,406	,103	4,689	,000
N de casos válidos	32			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

4.3 Operador con espectrofotómetro.

Para los dos operadores se establecieron valores estadísticos significativos ($p=0.000$) en el test de Chi-cuadrado. El valor resultante del test Kappa coincide con una concordancia **muy buena** (0.802) entre los dos observadores en la toma de color con el espectrofotómetro.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	75,458 ^a	12	,000
Razón de verosimilitudes	50,127	12	,000
Asociación lineal por lineal	25,185	1	,000
N de casos válidos	32		

a. 17 casillas (85,0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es ,06.

Medidas simétricas

	Valor	Error típ. asint. ^a	T aproximada ^b	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa	,802	,092	6,480	,000
N de casos válidos	32			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

Con estos datos de significación estadística obtenidos interoperador ($p < 0.005$) , queda rechazada la segunda hipótesis planteada en nuestro trabajo “No existe concordancia entre los resultados obtenidos por los dos operadores”.

5. DISCUSIÓN

En la literatura existen numerosos estudios que pretenden evaluar los métodos que actualmente existen para tomar el color^{24,31}, desde la práctica convencional con guías de colores, pasando por la introducción del filtro polarizado en la técnica subjetiva hasta llegar a los métodos objetivos.⁵⁴

Son varios los factores que hay que tener en cuenta en el momento de decidir el color ideal para conseguir un buen resultado estético en una restauración dental. Para el diseño del presente trabajo, se tomaron en consideración las observaciones de los estudios previos que nos hablan de cómo influyen estos factores.

La luz es uno de los determinantes principales en la medición del color. Existen varios tipos de luz en función de la composición espectral y el uso inadecuado de ellos puede dar lugar al metamerismo.³⁵ Bergen y McCasland¹⁵ investigaron diferentes fuentes de luz para determinar el tipo más eficaz y también compararon los resultados obtenidos con la luz artificial frente a la luz ambiental. Las conclusiones de ese estudio, recomendaron utilizar una fuente de luz estándar con un espectro completo debiendo ser utilizada tanto en el laboratorio como en la clínica.⁶³ Cha HS y Lee YK⁷¹ se propusieron como objetivo determinar la diferencia de color existente sobre las tablillas de las guías de color Vita Lumin, Chromascop, y Vita 3D-MÁSTER al cambiar el tipo de luz incidente sobre ellas. Como resultado observaron que existían diferencias estadísticamente significativas en todas las guías de color entre los tres tipos de iluminación. Un estudio publicado un año después por Gokce y cols⁷⁹, volvió a insistir en como influía la temperatura de la luz en la toma de color óptima. Cuando no sea posible contar con la luz natural podemos optar por la utilización de lámparas de luz corregida. Estas lámparas proporcionan una iluminación con una temperatura parecida a la de la luz natural del mediodía entre los 5500°K y 6500°K.^{11,29,38} En nuestro estudio todas las mediciones se realizaron a la misma hora de la mañana y en el sillón dental más próximo a la ventana con la luz de los equipos apagadas. La temperatura de color calibrada de la luz natural en ese momento del día fue de 5500°K aproximadamente. En el presente estudio, introducimos la lámpara Smile Lite como un instrumento facilitador de este proceso. Se trata de un aparato dotado de luz LED calibrada a una temperatura de 5500 °k que es la equivalente a la luz natural de la mañana. Presenta una abertura rectangular a través del cual se observa el diente definiendo un área precisa que elimina las luces, los brillos o los reflejos.^{61,62}

El diente observado es otro de los componentes que afectan a la percepción del color. O'Brien WJ. y cols⁴¹ en 1997 publicaron un estudio donde examinaron 95 dientes anteriores y realizaron una medición espectrofotométrica a los tres tercios de cada diente. Sus resultados dedujeron que no había diferencias estadísticamente significativas en cuanto al valor en los tres tercios pero sí se encontraron diferencias en la saturación y en la luminosidad entre ellos. Determinaron que la región cervical presentaba más intensidad que las otras dos y que esta estaba modificada por la dispersión de la luz de la encía, además, el tercio incisal es más translúcido y está más afectado por el fondo de la cavidad.^{11,13,41} Por ello, para la mayoría de los autores, el tercio medio del diente es el sitio que ha sido descrito como el que mejor representa el color dental. Por estos motivos, en nuestro estudio piloto el tercio elegido para representar el color dental de cada participante ha sido el tercio medio.

El tercio medio del diente es generalmente plano, en comparación con el tercio gingival, y refleja la luz de la dentina con poca influencia de la capa de esmalte. Las superficies planas proporcionan una plataforma estable para el posicionamiento de espectrofotómetro durante el procedimiento de medición del color.^{15,65}

En el estudio publicado por Karamouzou y cols⁶⁸ en el año 2007, se realizaron mediciones espectrofotométricas donde los resultados que parecieron más estables fueron los de los incisivos centrales superiores frente a los más variables que fueron los de los premolares inferiores. La superficie curva de los premolares parece contribuir a errores adicionales inherentes durante el proceso de medida por el impacto negativo del reflejo de la luz en el área de medición del espectrofotómetro. Este es el principal motivo por el que se esperarían menos errores en el incisivo central superior.^{29, 38} Siguiendo con estas afirmaciones, escogimos como muestra para nuestro estudio piloto los dos incisivos centrales superiores de cada paciente.

Los estudios han demostrado una falta de coherencia entre los observadores existiendo numerosos factores personales que pueden determinar la capacidad de distinción cromática de cada sujeto.^{5,9,11,17} Con el paso de los años las personas varían en su capacidad de percepción de color. Ésta, entre otros factores, se ve afectada por la edad.^{11,14,15} Varios autores han llegado a la conclusión de que las mujeres toman el color mejor que los hombres¹¹. Según las estadísticas, el 0,5% de las mujeres y el 8% de los hombres tienen una deficiencia para diferenciar los colores. Las alteraciones congénitas en la percepción del color están ligadas al cromosoma X, y por tanto ocurren con una frecuencia superior en el sexo masculino.^{14, 15} Esthell y cols⁷² en su artículo realizado en 2006 resaltaron que las mujeres tienen mayor capacidad para captar los valores del color y Donahue y cols¹⁴ destacaron que las mujeres están más de acuerdo con las mediciones del espectrofotómetro que los hombres, pero que la diferencia es poco significativa.

Siguiendo las anotaciones de la mayoría de los autores consultados, y para evitar una posibles influencias en los resultados, en nuestro trabajo intervinieron como observadores dos mujeres de la misma edad.

Otro factor a tener en cuenta en la realización de las mediciones con los diferentes métodos es la experiencia del observador.³⁷ Se trata de un factor determinante en la toma del color subjetiva, aunque a priori a mayor experiencia, mayor fiabilidad de los resultados. Los estudios de Paul y cols⁶⁶ revelan las diferencias significativas entre dos grupos de observadores con y sin experiencia en los resultados obtenidos del espectrofotómetro. Los datos de este estudio favorecieron a los profesionales con experiencia clínica. En otro de los estudios observados, pudimos comprobar que a medida que los observadores adquirían experiencia el error en las mediciones subjetivas era cada vez menor.¹⁴

En nuestro estudio, siguiendo con las ideas propuestas por los autores anteriores, las dos observadoras tenían la misma experiencia profesional con los tres métodos de toma de color.

Habiendo expuesto y justificando los principales factores y condiciones ideales en la toma del color, nos centramos en los objetivos de nuestro trabajo.

Los resultados con respecto a nuestro primer objetivo, “evaluar la concordancia intraoperador (repetibilidad) e interoperador” indican que la primera mejora de una forma muy marcada cuando utilizamos métodos objetivos. La concordancia intraoperador con el espectrofotómetro es buena frente a la del la guía que es muy baja, en el medio de los dos está el filtro polarizado. En cuanto a la concordancia interoperador aumenta cuando utilizamos el espectrofotómetro, mientras que cuando utilizamos métodos subjetivos, la concordancia disminuye drásticamente.

Hassel A.⁶⁵ en el año 2007 publicó un estudio donde comparaba la fiabilidad interoperador e intraoperador en la medición del color dental mediante un espectrofotómetro clínico y la guía 3D-MÁSTER. Tres examinadores evaluaron dos veces el color dental empleando la guía 3D-MÁSTER y el espectrofotómetro Vita Easyshade en 161 dientes anteriores de 19 pacientes. Aunque el acuerdo fue mayor con el espectrofotómetro, con la guía de color 3D-MÁSTER se consiguió un acuerdo del 48%. El autor concluyó que la fiabilidad intraoperador fue aceptable en términos generales, aunque en ocasiones se observó alguna diferencia clínicamente importante entre las dos mediciones de un mismo examinador.⁶⁵

Schmitter y cols⁶⁵ consiguieron una excelente concordancia entre los resultados obtenidos por tres examinadores utilizando un espectrofotómetro, resultados que coinciden con los del presente trabajo. Derdilopoulou y cols⁶⁴ mostró un acuerdo del 49,7% entre dos examinadores realizando una toma de color convencional frente a un acuerdo mucho más elevado con el espectrofotómetro. Gehrke y cols⁵ obtuvieron un significativo desacuerdo del 45% entre tres examinadores en la toma visual. Otro estudio investigó que observadores con experiencia clínica en toma de color convencional obtuvieron un acierto del 55-64%, frente a colorímetros con un 82%, y espectrofotómetros con un 83% de acierto.¹⁴ Tung y cols^{28,49} concluyeron que observadores con experiencia clínica coincidían tomando el color con guía de colores en un 55-64% frente a espectrofotómetros que lo hacían en un 82%. En el presente trabajo, la concordancia interoperador fue baja para la guía de color, moderada para la luz polarizada, y buena para el espectrofotómetro, coincidiendo con Tung y cols.

De este análisis podemos deducir que la evaluación del color dental por el ojo humano es poco fiable, mientras que la espectrofotométrica puede evidenciar una mayor predicción, y ser un método de evaluación más exacto. Los datos obtenidos nos indican la variabilidad en la fiabilidad y la sensibilidad de los diferentes operadores en el manejo específico de los sistemas.

La ventaja de los método objetivos frente a los subjetivos se puede deber a que eliminamos los factores personales del observador como son la edad, la calidad visual y las condiciones del entorno, entre otros.⁶⁹ En punto intermedio, tenemos el filtro polarizador. La incorporación del filtro polarizado a la luz LED con una temperatura ideal de 5500 °K, reduce los reflejos, los brillos y los artefactos que pueden incidir en la superficie dentaria alterando la percepción del color y permite realzar los contrastes.

Así podemos determinar el valor del diente de una forma más precisa resultando lógico que los resultados de repetibilidad sean mejores que los de la toma de color convencional. De todas formas, no deja de ser un método subjetivo y sigue estando influido por la variabilidad individual de los observadores, por lo que la repetibilidad es menor que los métodos objetivos.

El valor es la propiedad del color que mejor percibe el ojo humano por el número y disposición de los conos y los bastones.⁹ La mayoría de los 6 millones de conos se encuentran ubicados en el centro focal de la retina por lo que, en ocasiones, cuando vemos un objeto con la parte lateral del ojo, podemos distinguir que existe algo ahí, pero no podemos precisar con exactitud su color. Los bastones sólo tienen un tipo de pigmento fotosensible, por lo que su percepción es acromática, o sea son los responsables de la percepción del valor de los objetos. Estos están ubicados alrededor del punto focal de la retina y muchos bastones comparten una fibra nerviosa. Todo esto nos ayuda a ver en condiciones de poca luz, aunque no podamos distinguir el color de los objetos, si podemos distinguir que existe un objeto. Cuando estamos seleccionando un color, lo más sencillo es cerrar parcialmente el ojo para limitar la entrada de luz al ojo y activar más los bastones, esto nos permite establecer muy bien las diferencias de valor, luego con el ojo enfocado en el diente que queremos, podemos determinar su matiz y su saturación. Es preferible que el dentista acierte en el valor que en cualquiera de los otros dos parámetros, pues el paciente siempre va a distinguir más fácilmente diferencias muy pequeñas en valor que en croma o matiz.^{44,}

54

Se ha demostrado que la percepción acromática del ojo humano es más sensible que la cromática. De ahí que la guía 3D-MÁSTER esté organizada por valor frente a las guías clásicas que están organizadas por matiz.^{30, 44}

Diversos estudios sugiere que el análisis instrumental es más sensible a la selección de un tono más claro que el análisis visual. Yap y cols⁴⁹ informaron de que la diferencia entre el análisis visual y análisis instrumental mostró una tendencia dependiente de la sombra. Además, informaron que el análisis instrumental era más sensible al cambio en la luminosidad y el croma de una sombra oscura que el análisis visual.

Revisando los artículos publicados, parece que la repetibilidad de los valores mediante métodos subjetivos es muy baja, es decir, es muy difícil determinar dos veces el mismo color con la guía de color. Sin embargo, con los objetivos, esta repetibilidad aumenta considerablemente. Estos resultados coinciden con los hallados en el presente estudio y con los observados en la literatura. Así, Amengual y cols²⁴ en 2005 afirmó que pocas veces distintos observadores coincidían en la selección del color. Este autor recomienda el empleo de métodos objetivos para realizar una medición más precisa y reproducible del color dental. Judeh y cols⁷³ en 2009 compararon el método subjetivo con el método objetivo de medición del color del diente y se encontraron diferencias significativas entre los métodos digital y los métodos visuales. Con el sistema digital la probabilidad de hacer coincidir el color frente a el método visual fue cinco veces mayor. En un estudio de 3758 diente fue

observado que la evaluación espectrofotométrica del color fue idéntica en el 89,6% de los casos, mientras que la evaluación visual sólo coincidió en un 47,9% de los casos.⁶⁴

El análisis espectrofotométrico parece ser más reproducible, incluso entre varios operadores, que la determinación visual.⁴⁹ En el presente trabajo, el espectrofotométrico tuvo una repetibilidad buena frente a los métodos subjetivos de toma de color que obtenían una repetibilidad moderada (luz polarizada) y baja (guía de color). Estos resultados coinciden con los resultados de estudios previos publicados en la literatura.

Culpepper y cols²⁸ informó de la falta de acuerdo entre los profesionales a la hora de realizar una toma de color a un diente natural y la incapacidad para duplicar sus propias selecciones de color de una ocasión a otra. Aunque el método más popular y tradicional de selección de color en odontología es a través del uso de una guía de colores prefabricadas, la toma de color con este proceso parece dar resultados poco fiables e inconsistentes.⁵⁴

Frente a la escasa reproducibilidad de los métodos subjetivos utilizando guías, que oscila entre el 30% y el 60% (aunque la mayoría de los estudios se encuentran realizados por exploradores experimentados, ya sean estudios clínicos, sobre guías de colores o cerámicas) y a pesar de la escasa existencia de estudios que evalúen la reproducibilidad de los sistemas electrónicos de medición del color en Odontología, la coincidencia en los resultados es clara. Estos métodos son altamente reproducibles, 82% en un estudio realizado sobre pacientes y 100% en un estudio realizado sobre guías Vitapan classical.²⁴ Tales resultados son similares a los obtenidos en nuestro estudio.

Estos resultados pueden sugerir, que los métodos subjetivos de toma de color están más condicionados por las condiciones individuales del observador, mientras que en los métodos objetivos estas variaciones individuales tienen menos influencia. Los porcentajes de coincidencias varían según los diferentes estudios, aunque son unos aparatos muy sensibles a la técnica ya que hay estudios en los que la experiencia es un factor muy importante y en otros no, la mayoría de ellos coinciden en la superioridad de los dispositivos electrónicos.⁴⁹

Otro de nuestros objetivos fue observar la concordancia intramétodo e intermétodo. La repetibilidad intramétodo con métodos subjetivos es mucho más baja que la que obtenemos con métodos objetivos. Respecto a la concordancia intermétodo, en el estudio hay muy baja concordancia entre métodos objetivos y subjetivos. Esto se debe a la gran variabilidad de resultados obtenidos con los subjetivos. En la revisión bibliográfica referente al método, no podemos comparar los resultados sobre el uso del filtro polarizado en odontología ya que no existe evidencia científica sobre este instrumento. Dejamos las puertas abiertas a la realización de más trabajos de investigación usando este aparato ya que los datos obtenidos hasta el momento parecen ser muy interesantes.

Tung y cols²⁸ y Joiner y cols⁴⁰ describieron las desventajas en la comparación visual con las guías, tanto in vivo como in vitro, para la medición del color dental dada la subjetividad del proceso.¹¹

La selección subjetiva del color mediante guías va a depender, entre otros factores, de las características fisiológicas y psicológicas del observador, responsables de captar la energía estimulada.^{5,9,11,17} Se ha observado que las guías de color dentales podrían mostrar ligeras variaciones de color que podrían ser cuantificadas por métodos electrónicos. Se dice que existe una falta de estandarización.⁵⁴ Un estudio concluyó después de trabajar con las coordenadas de color de 25 guías Vitapan Classical, que estas podrían no considerarse intercambiables. Un estudio comparativo de las guías dentales efectuado por Pusateri y cols³⁶ en el año 2009 destacó que la guía Vita Clásica (Vita-Zahnfabrik) tiene un promedio más alto de fiabilidad (95%) que la guía 3D-MÁSTER con un resultado inferior al 91.2%, sin embargo la casa Vita Zahnfabrik llevó a cabo un control de sus productos y observaron que la guía 3D-MÁSTER proporcionaba mayor seguridad dando resultados más precisos.⁴⁷ Debemos tener en cuenta que la guía Vita Clásica maneja menor número de variables, por lo que el error es menor, pero obtenemos muestras con poca exactitud. Al comparar la guía Vitapan Classical y la guía 3D-MÁSTER, se afirma que los rangos de intensidad y la gama de colores de la guía de color 3D-MÁSTER tiende a cubrir los colores de los dientes naturales, siendo superior, por tanto a la guía Vitapan Classical. A pesar de esto, en el trabajo de Klementi y cols⁷⁴ en el año 2006, la guía 3D-MÁSTER nos demuestra que es muy sensible a la técnica y a la experiencia sobretudo en observadores nobles. Con el objetivo de conseguir los resultados más exactos, para nuestro estudio seleccionamos la guía 3D-MÁSTER.

Zantner y cols⁶⁴ describieron que el rango de tonos disponibles en las guías de color no cubre completamente el rango de color de los dientes naturales ni de los que han recibido un tratamiento blanqueador. La capacidad de los seres humanos para evaluar y coincidir los dientes con las guías de colores ha demostrado ser poco fiables.^{36, 47, 74,75} En el año 2009, Hernández y cols¹⁴ encontraron que los tres colores más frecuentes de la guía 3D-MÁSTER fueron el 2M1 (19.63%), 3M1 (12.45%) y por último 2R1,5 (9.35%). Este resultado se relaciona con los resultados de nuestro estudio piloto en el que el valor más repetido con la guía 3D-MÁSTER fue el 2M1.

Para objetivar los datos obtenidos con las guías, se ha introducido el filtro polarizado. La luz natural y neutra independientemente de la temperatura ambiental permite limitar la gama de colores y seleccionar el valor ideal. Mejora la apreciación del color y la visualización de la profundidad destacando los detalles más pequeños. Un concepto que aporta mucha fiabilidad a este instrumento es que puede ser utilizada por el odontólogo y el por el protésico, con el fin de trabajar con la misma calidad de la luz y por lo tanto ambos tienen las mismas referencias.

Entre los dispositivos disponibles en la clínica dental, para realizar una medición objetiva más fiable del color, se encuentran los espectrofotómetros dentales, que ofrecen la posibilidad de cuantificar y captar el color de forma más precisa.^{6,37,48} Facilita la valoración general del diente, una evaluación de la zona cervical, media e incisal y un análisis detallado de todos los puntos de la superficie dentaria ayuda a conseguir el

color ideal en las restauraciones dentales. Entre las ventajas que aporta este instrumento están la buena visualización, el acceso a todos los dientes, la obtención de resultados objetivos independientemente de la iluminación, la precisión y el ahorro de tiempo, la estandarización, reproducibilidad, rapidez y seguridad. Además realiza mapas colorimétricos que facilitan la labor del técnico protésico.^{6,47} Da la posibilidad de alinear correctamente el diente mediante el sistema de guía de posicionamiento del diente visualizado en la pantalla de alta resolución. Facilita el traslado de imágenes y datos espectrales a un ordenador personal mediante un USB o una tarjeta de memoria y enviar al laboratorio en tiempo real mediante e-mail o CD-ROM. La desventaja destacable que ofrece el espectrofotómetro frente a otros aparatos similares es que presenta un coste más elevado.

Son muchos los estudios que insisten en las diferencias significativas en la medición del color que existen entre estos instrumentos y la toma de color convencional.^{28,64,74,76,78}

Da Silva y cols⁵⁹ midieron el grado de aceptabilidad de los pacientes y concluyó que las coronas fabricadas a través de una toma de color mediante espectrofotómetro presentaban menos fallos de color y eran menos rechazadas por los pacientes que las coronas con un color seleccionado a través de guías dentarias.

El espectrofotómetro Spectroshade Micro proporciona medidas repetibles e indica una mayor coherencia en comparación con otros instrumentos como son los colorímetros o incluso con otros tipos de espectrofotómetros.^{8,19,66,67,68} Este dato coincide con nuestros resultado intraobservador e intramétodo con este instrumento ya que en todas las ocasiones las mediciones del espectrofotómetro se repetían frente a las del polarímetro o a las de la guía 3D-MÁSTER.

Karamouzou y cols⁵⁵ evaluaron la precisión de un espectrofotómetro durante una evaluación longitudinal de color dental in vivo de la superficie vestibular de 6 dientes de 22 estudiantes de odontología en donde se registró el color dental durante tres días diferentes usando un espectrofotómetro micro y se analizaron los valores calculados ΔE concluyendo que el espectrofotómetro provee mediciones muy precisas del color dental in vivo. En este mismo estudio se evaluaron incisivos centrales y premolares, obteniendo resultado más repetibles con los primeros.

En 2013, Witkowski y cols⁵ realizaron mediciones con un espectrofotómetro concluyendo que la toma de color visual frente a la selección de tonos con modelos digitales es muy pobre. La conclusión principal del estudio realizado por Horn y cols⁷⁰ en 1998 definió a la espectrofotometría como la forma más predecible y fiable de evaluación de color de los dientes humanos. El espectrofotómetro logra una reproducibilidad de 80% mientras que los observadores humanos no superaron el 65%. Hallazgos similares fueron reportados por Paul y cols³¹ en un estudio en el que los autores concluyeron que las mediciones con un espectrofotómetro son más precisa y reproducible, que las realizadas por el ojo humano, los observadores coincidieron en el 26,6% y el espectrofotómetro en 83.3%.^{47,49} La fiabilidad de las mediciones de color de los dientes con espectrofotómetros se considera que es mejor que las hechas por el ojo humano.¹⁵

Por el contrario, otros estudios publicados abogan que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los métodos subjetivos y objetivos.^{54,69} Okubo y cols⁴⁹ informaron de que no había ninguna diferencia significativa entre los resultados obtenidos entre el método instrumental y el método visual. Kuzmanovic y cols⁶⁸ no encontraron diferencias significativas en la selección de color del diente entre el método objetivo y el subjetivo. En la revisión bibliográfica realizada por Joiner y cols¹¹ no se encontraron diferencias significativas entre la utilización del espectrofotómetro y la medición visual, coincidiendo con Hugo y cols⁴⁹. Guan y cols⁷⁸ concluía que existía una buena correlación entre los resultados obtenidos por visión humana directa y por espectrofotometría.

Basándonos en la revisión bibliográfica que hemos realizado creemos conveniente y necesario formar a los profesionales en los diferentes métodos de toma de color. El espectrofotómetro es sencillo de usar pero necesita un proceso de aprendizaje ya que por los resultados obtenidos en nuestro estudio parece ser muy sensible a la técnica. Para confirmar esta afirmación sería interesante plantear un estudio formado por un grupo de observadores con experiencia y otro grupo sin experiencia. Con respecto al polarímetro, parece que únicamente aporta ventajas a la toma de color convencional ya que los resultados obtenidos con él, son parecidos a los obtenidos con la guía 3D MÁSTER pero superiores en cuanto a valores de concordancia. Es necesario hacer incapié en ensayos con este tipo de guía de colores para mejorar el uso de la técnica. De igual forma que con el espectrofotómetro sería interesante plantear un estudio con observadores con y sin experiencia.

Por los datos anteriormente citados y los resultados obtenidos en nuestro estudio, deducimos que sigue existiendo cierta controversia en cuanto a la comparación entre el análisis visual e instrumental. Aunque todo apunta que los métodos objetivos son los más recomendables, creemos necesario realizar más estudios diferenciando grupos de observadores con y sin experiencia. Además, en nuestro estudio, destacamos los datos obtenidos con el filtro polarizado considerando fundamental seguir realizando estudios sobre este nuevo instrumento.

6. CONCLUSIONES

Con las limitaciones del presente estudio piloto in vivo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. La selección del color dental mediante guía de color demuestra una alta variabilidad en las medidas intra e inter observador, lo que supone una baja precisión del método.
2. La introducción del filtro polarizado como ayuda en el método subjetivo de la toma de color convencional mejora la repetibilidad y concordancia de los resultados obtenidos con la técnica clásica.
3. La concordancia y repetibilidad de los métodos objetivos (espectrofotómetro) son muy superiores a los obtenidos por métodos visuales objetivos.
4. Los colores seleccionados en la toma de color con guía de color tienen menos valor que los resultados obtenidos con el espectrofotómetro.
5. La utilización del espectrofotómetro produce una gran disminución en la variabilidad de los resultados, lo que supone afirmar que tiene una alta precisión.
6. Los resultados obtenidos muestran resultados que deben ser corroboradas o refutadas tras la ampliación del tamaño muestral.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Llana C, Lozano E, Amengual J, Forner L. Reliability of two color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Contemp Dent Pract*. 2011; 12: 19-23.
2. Odaira C, Itoh S, Ishibashi K. Clinical evaluation of a dental color analysis system: the Crystaleye Spectrophotometer®. *J Prosthodont Res*. 2011; 55: 199-205.
3. Sidney K, Bruguera A. Invisible: Restauraciones estéticas cerámicas. Brasil: Artes médicas, 2008.
4. Fradeani M. Rehabilitación estética en prostodoncia fija: Análisis estético Vol. 1. Barcelona: Quintessence, 2006.
5. Witkowski S, Yajima ND, Wolkewitz M, Strub JR. Reliability of shade selection using an intraoral spectrophotometer. *Clin Oral Investig*. 2013; 17: 1027-8.
6. Núñez Díaz P, Del Río Highsmith J. Estudio comparativo entre sistemas de medición del color en odontología (espectrofotometría). *Gaceta Dental: Industria y Profesiones*, 2007;179:164-75.
7. <http://s3.accesoperu.com/wp6/includes/htmlarea/mezclador/ayuda/>
8. Khurana R, Tredwin CJ, Weisbloom M, Moles DR. A clinical evaluation of the individual repeatability of three commercially available colour measuring devices. *Br Dent J*. 2007; 203: 675-80.
9. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *J Prosthet Dent* 1986; 56: 35–40.
10. http://www.fundacioncreo.org.ar/cursos/operatoria2013/Cap7_Color.pdf
11. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 2004; 32 Suppl 1: 3-12.
12. <http://www.clinicaeco.com/blog/wp-content/uploads/2008/05/el-blanqueamiento-dental-estado-de-la-cuestion.pdf>
13. Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003; 23: 467-79.
14. Hernandez Rodriguez ZM. Estudio clínico del color dental en la población española según sexo y edad. *Gaceta Dental* 2009; 203: 160-175.
15. Alsaleh S, Labban M, Alhariri M, Tashkandi E. Evaluation of self shade matching ability of dental students using visual and instrumental means. *J Dent*. 2012; 40 (Suppl 1):82-7.
16. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). 1976. Annuaire, Roster, Register, Annexe au Bulletin CIE (París: Bureau Central de la CIE). (PROCLUS, patrimonio Conicet).

17. Curd FM, Jasinevicius TR, Graves A, Cox V, Sadan A. Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. J Prosthet Dent 2006; 96: 391-6.
18. Clark EB. Tooth color selection. J Am Dent Assoc 1933; 20:1065-1073.
19. Cal E, Guneri P, Kose T. Comparison of digital and spectrophotometric measurements of color shade guides. J Oral Rehabil. 2006; 33: 221-8.
20. http://www.unirioja.es/cu/fede/color_de_vino/capitulo01.pdf
21. <http://www.fotonostra.com/grafico/elcolor.htm>
22. http://eprints.ucm.es/20258/1/M%C2%AA_Angeles_Rodr%C3%ADguez.pdf
23. <http://www.gusgsm.com>
24. Amengual-Lorenzo J, Llena-Puy MC, Forner-Navarro L. Reproducibilidad en la medición del color in vitro e in vivo mediante colorímetros específicos para uso dental. RCOE 2005; 10: 263-267.
25. Elementos básicos del color. Madrid: H. Blume, 2001:13-21.
26. http://www.cenoposiciones.com/docs/files/2012_dibujo_11_13_3.pdf
27. http://issuu.com/ungatoenlared/docs/unidad_tem_tica__el_color
28. Tung FF, Goldstein GR, Jang S, Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. J Prosthet Dent 2002; 88: 585-90.
29. http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10053/2/Ortiz%20Zamora,%20Francisco%20Gabriel_1.pdf
30. Dagg H, O Connell B, Claffey N, Byrne D, Gorman C. The influence of some different factors on the accuracy of shade selection. J Oral Rehabil. 2004; 31:900-4.
31. Paul S, Peter A, Pietrobon N, Hämmerle CH.F. Visual and Spectrophotometric Shade Analysis of Human Teeth. J Dent Res. 2002; 81: 578-82.
32. Álvarez C, Grille C. Puesta el día en iluminación Cient dent 2008; 5: 193-205.
33. Rosenstiel SF. Prótesis fija contemporánea. Barcelona: Elsevier España, 2008.
34. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6361/1/500472.2012.pdf>
35. Lee YK, Yu B, Lim HN. Vitapan 3D-master shade guide showed no fluorescence emission. Indian J Dent Res 2012;23:742-6.

36. Rey KA , deRijk WG. Variations of L*, a*, b*, values among Vitapan Classical Shade Guides. J Prosthodont 2007; 16: 352-356.
37. Pascual-Moscardó A, Camps-Alemany I. Aesthetic dentistry: Chromatic appreciation in the clinic and the laboratory. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2006;11:363-8.
38. Torné-Duran S, Escuin-Henar T, Monreal-Nieto J. Cambios cromáticos en la superficie cerámica. RCOE 2003;8:487-496.
39. McLaren EA. El color y la comunicación. Dental Tribune Hispanic & Latin America 2012; 5: 1-5.
40. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. J Dent 2008; 36 (suppl):2-7.
41. Ó'Brien WJ. Hemmendinger H, Boenke KM. Color distribution of three regions of extracted human teeth. Dental Material 1997 13: 179-185.
42. Mejía Gutierrez A, Ballinas Solís A, Ledesma Montes C. Aspect some to influence for dental color matching. Órgano oficial de la Asociación Dental Americana 2009;3:44-49.
43. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. J Dent. 2014; 42: 48-52.
44. La Fuente D. Física del color y su utilidad en odontología. Rev. cient. odontol. (4)1:10-5.
45. Herrero Tajada MP. Carillas estéticas. Revista Gaceta Dental 2010; 217:160-175.
46. Park JH, Lee YK, Lim BS. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. J Prosthet Dent 2006;96:402-11.
47. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. J Prosthet Dent. 2009; 101: 193-9.
48. Da Silva JD, Park SE, Weber HP, Ishikawa-Nagai S. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. J Prosthet Dent. 2008; 99: 361-8.
49. Choi JH, Park JM, Ahn SG, Song KY, Lee MH, Jung JY, Wang X. Comparative study of visual and instrumental analyses of shade selection. Journal of Wuhan University of Technology-Mater 2010; 1:62-63.
50. Yuan J, Brewer JD, Monaco EA Jr, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. J Prosthet Dent. 2007; 98: 110-9
51. Watts A, Addy M. Tooth discolouration and staining: a review of the literature. British Dental Journal 2001; 190: 309–3.

52. <http://www.semcc.com/master/files/Blanqueamiento%20dental%20%20Dras.%20Gironella%20y%20Saurina.pdf>
53. Sfreddo M, Mason S. Evaluación del blanqueamiento dental mediante espectrofotometría y SEM. Quintessenza Internazionale 2005; 5: 55-76.
54. Van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Kortsmits WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. J Prosthet Dent 1990;63: 155-62.
55. Van der Burgt TP, Ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmits WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. J Prosthet Dent. 1990; 63: 155-162.
56. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Color comparison of two shade guides. Int J Prosthodont. 2002; 15: 73-8.
57. <https://www.vita-zahnfabrik.com/es/Guia-de-colores-VITA-classical-A1-D4-1094.html>
58. <https://www.vita-zahnfabrik.com/es/Linearguide-3D-Master-1074,27568,6010.html>
59. Ahn JS, Lee YK. Color distribution of a shade guide in the value, chroma, and hue scale. J Prosthet Dent. 2008; 100: 18-28.
60. Oh WS, Koh IW, O'Brien WJ. Estimation of visual shade matching errors with 2 shade guides. Quintessence Int . 2009 ; 40: 833-6.
61. Amengual Lorenzo J, Forner Navarro L. Incorporación del blanqueamiento dental en la práctica clínica diaria. Revista Gaceta Dental 2011;223:104-115.
62. <http://www.styleitaliano.org/smile-lite/>
63. Todorovic A, Todorovic A, Gostovic AS, Lazic V, Milicic B, Djuricic S. Reliability of conventional shade guides in teeth color determination. Vojnosanit Pregl. 2013;70:929-34.
64. Derdilopoulou FV, Zantner C, Neumann K, Kielbassa AM. Evaluation of visual and spectrophotometric shade analyses: a clinical comparison of 3758 teeth. Int J Prosthodont. 2007 ; 20: 414-6.
65. Hassel AJ, Grossmann AC, Schmitter M. Interexaminer reliability in clinical measurement of L*, C*, h* values of anterior teeth using a spectrophotometer. International Journal Prosthodont 2007; 20: 79-84.

66. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N, Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2004; 24: 221-31.
67. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent*. 2010;38:2-16.
68. Karamouzos A, Papadopoulos MA, Kolokithas G, Athanasiou AE. Precision of in vivo spectrophotometric colour evaluation of natural teeth. *J Oral Rehabil* 2007;34:613-21.
69. Hu X, Johnston W.M, Seghi R.R. Measuring the color maxillofacial prosthetic material. *J Dent Res*. 2010 ;89:1522-7
70. Horn DJ, Bulan-Brady J, BS, Hicks ML. Sphere Spectrophotometer Versus human evaluation of tooth shade. *J Endod*. 1998; 24: 786-90.
71. Cha HS, Lee YK. Difference in illuminant-dependent color changes of shade guide tabs by shade designation relative to three illuminants. *Am J Dent* 2009; 22: 350-6.
72. Ethell J, Jarad FD, Youngson CC. The effect of colour defective vision on shade matching accuracy. *The European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 2006; 14: 131-136.
73. Judeh A, Al-Wahadni A. A comparison between conventional visual and spectrophotometric methods for shade selection. *Quintessence Int*. 2009;40:69-79.
74. Klemetti E, Matela AM, Haag P, Kononen M. Shade selection performed by novice dental professionals and colorimeter. *J Oral Rehabil* 2006;33: 31-5.
75. Corcodel N, Helling S, Rammelsberg P, Hassel AJ. Metameric effect between natural teeth and the shade tabs of a shade guide. *Eur J Oral Sci* 2010;118:311-6.
76. Hugo B, Witzel T, Klaiber B. Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Investig* 2005; 9: 244-250.
77. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33: 159-174.
78. Guan YH. The measurements of tooth whiteness by image and spectrophotometry: a comparison. *Journal of Oral Rehabilitation* 2005; 32:7- 15.
79. Gokce HS, Piskin B, Ceyhan D, Gokce SM, Arisan V. Shade matching performance of normal and color vision-deficient dental professionals with standard daylight and tungsten illuminants. *J Prosthet Dent* 2010;103:139-47.
80. Hilario A, Carbonell PJ. Calibración de equipos de medida según ISO 9000. Introducción

a la calibración de equipos de medida para monitorización y control de procesos industriales según la familia de normas ISO 9000.